

UTILIZAÇÃO DE BIM E MÉTODOS DE SUSTENTABILIDADE EM ELEMENTOS NA CONSTRUÇÃO

BRUNO FILIPE BENTO MARTINS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL - 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu pai

“Se não sai de ti a explodir/apesar de tudo/não o faças”

Charles Bukowski

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação representa o findar de mais um ciclo e quero agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para esta etapa.

Ao professor Alfredo Soeiro, um agitador de ideias, por toda a disponibilidade, motivação, confiança, apoio, conhecimentos e sugestões.

Ao professor João Poças Martins, pela transmissão dos conhecimentos sobre o BIM e da utilidade destes para um futuro profissional.

Aos meus amigos que enriqueceram este percurso académico, em especial ao Zé Pedro, Barbosa, Pimentel e António, obrigado pelos jogos de sueca, apoio nas épocas de exames, churrascos, conversas aleatórias e dores de barriga por tanto rir. Ao meu grupinho de futsal, pelas horas de descontração a correr atrás de uma bola.

À equipa do One Click LCA, por toda a disponibilidade e atenção.

À minha mãe, por seres a guerreira que és. Poderia continuar a enumerar todas as tuas qualidades, mas uma página não seria suficiente. Portanto, obrigado por seres mãe e pai ao mesmo tempo.

Ao meu pai, por teres sido o mais galinha, acompanhado todos os meus jogos de futebol e pelos valores que me transmitiste. Nunca serás esquecido.

Ao meu irmão, que apesar de não ser uma pessoa que tem sempre uma palavra na ponta da língua, sempre soube o que fazer para me tirar um sorriso.

À Ana, ao Vitor e ao Diogo, por me ajudarem e acolherem como se já fosse um membro da família.

Ao meu grupo de amigos inseparável: Catarina, Nádia, Daniel, Hugo, Ana e André, por todos os cafés, momentos, conversas e gargalhadas partilhadas.

Como o melhor fica sempre para o fim, agradeço à minha namorada e melhor amiga, Catarina. Ao caminhar a teu lado tudo se torna simples, claro e magnífico. Obrigado por acreditares em mim, passares raspanetes quando necessário, amparares com um abraço, felicitares com um beijo e por iluminares a minha vida durante estes últimos sete anos.

RESUMO

Em 2017, a Quercus, associação ambientalista, apontava os edifícios como os “grandes contribuidores para o fenómeno das alterações climáticas”, responsáveis por elevados consumos de energia e, consequentemente, pelas emissões de dióxidos de carbono. É conhecido e reconhecido pelas diversas autoridades ambientais globais que a modernização do setor da construção tem contribuído de forma negativa para o meio ambiente. A urgência de responder ao desafio de um setor que se espera mais sustentável impõe-se e, paralelamente, a necessidade de soluções integradas. A presente tese procura responder com uma proposta sólida de metodologia, incorporando BIM com Avaliação de Ciclo de Vida e de Custo de Ciclo de Vida. Através desta solução integrada, possibilitamos a determinação dos impactos ambientais e dos custos globais de cada elemento com o claro intuito de melhorar o nosso sentido de sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, ACV, CCV, Sustentabilidade, Elementos na construção.

ABSTRACT

In 2017, Quercus, an environmental organization, claimed that “buildings have been the major cause for climate change”, responsible for high levels of energy consumption and, consequently, carbon dioxide emissions. Several global environmental authorities have been recognizing that the modernization of construction industry has had a negative impact on the environment. There is an urgent need to both cope with the emerging challenges of a more sustainable industry and find integrated solutions. The present thesis tries to give answers based on a solid proposal of methodology, gathering together BIM with Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost. Through this integrated solution, we enable the determination of the environmental impacts and the overall costs of each element in order to improve our sense of sustainability.

KEYWORDS: BIM, ACV, CCV, Sustainability, Elements in construction.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVO.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. ESTADO DO CONHECIMENTO	5
2.1. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO.....	5
2.1.1. ENQUADRAMENTO.....	5
2.1.2. Impactos na construção.....	8
2.1.3. Medidas de sustentabilidade.....	9
2.1.4. Sistemas de avaliação e certificação.....	11
2.2. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA.....	12
2.2.1. ENQUADRAMENTO.....	12
2.2.2. FASES DE CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO.....	13
2.2.3. Fases de implementação da Avaliação de Ciclo de Vida.....	14
2.2.4. Variantes ACV.....	17
2.2.5. Declarações Ambientais de Produto (DAP's).....	17
2.2.6. Análise dos Custos de Ciclo de Vida.....	18
3. METODOLOGIA BIM NA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	21
3.1. BIM NA INDÚSTRIA DA AECO.....	21
3.2. DIMENSÕES BIM E A SUA IMPORTÂNCIA.....	25
3.3. BIM – ANÁLISE DE CICLO DE VIDA.....	26
3.3.1. ENQUADRAMENTO.....	26
3.3.2. SOLUÇÕES BIM-ACV-CCV.....	27
3.3.3. SELEÇÃO DO SOFTWARE PARA O CASO DE ESTUDO	31

4. MÉTODO PROPOSTO	35
4.1. ENQUADRAMENTO	35
4.2. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO	35
4.3. INTEGRAÇÃO REVIT – ONE CLICK LCA	36
4.3.1. ONE CLICK LCA PARA AUTODESK	36
4.3.2. SELEÇÃO DO PROJETO NO ONE CLICK LCA	37
4.3.3. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	39
4.3.4. CUSTOS DE CICLO DE VIDA	43
4.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO	44
4.5. SUMÁRIO DOS PROCEDIMENTOS PROPOSTOS	46
5. CASO DE ESTUDO	47
5.1. DESCRIÇÃO DO CASO	47
5.2. MODELAÇÃO BIM	47
5.3. INTEGRAÇÃO REVIT – ONE CLICK LCA	49
5.3.1. ANÁLISE DAS SOLUÇÕES	50
5.3.2. CASO 1 – REVESTIMENTO DE PISO INTERIOR	50
5.3.3. CASO 2 – ISOLAMENTO DA CORBERTURA	56
5.4. APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	61
5.4.1. ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO CASO 1	62
5.4.2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO CASO 2	65
5.5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	68
6. CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A1	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Evolução do número de artigos em revistas internacionais relacionados com o desenvolvimento sustentável. - Adaptada de [4].....	5
Fig. 2 – Os três pilares da sustentabilidade. - Adaptada de [7].....	6
Fig. 3 – Os Três Círculos Sobrepostos da Sustentabilidade. - Adaptada de [7].....	8
Fig. 4 – Possibilidade de intervenção Vs Custos no ciclo de vida. – Adaptada de [28].....	13
Fig. 5 – Fases de implementação da ACV. – Adaptada de [27].....	14
Fig. 6 – Etapas do ICV. - Adaptada de [14].....	16
Fig. 7 – Representação das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das variantes da ACV. – Adaptada de [8].....	17
Fig. 8 – Custos do ciclo de vida. – Adaptada de [33].....	18
Fig. 9 – BIM no ciclo de vida do edifício. - Adaptado [38].....	21
Fig. 10 – Passagem de informação entre especialidades [2].....	22
Fig. 11 – Principais benefícios identificados com a implementação BIM. - Adaptada de [42].....	23
Fig. 12 – Importância da metodologia BIM em 5 anos em Portugal. – Adaptada de [43].....	23
Fig. 13 – Motivos pelos quais não implementaram BIM de acordo com o grupo inquirido. – Adaptada de [43].....	24
Fig. 14 – Painel de <i>software</i> Tally.....	27
Fig. 15 – Logo IMPACT [52].....	28
Fig. 16 – Painel de <i>software</i> eveBIM-ELODIE [53].....	29
Fig. 17 – Painel de <i>software</i> Arquimedes [54].....	30
Fig. 18 – Painel de <i>software</i> One Click LCA.....	31
Fig. 19 – Menu adicionado ao Revit na aba Add-Ins.....	37
Fig. 20 – Criação do projeto proposto na base de dados do One Click LCA.....	37
Fig. 21 – Interligação das informações do modelo Revit com o software de análise de ciclo de vida..	37
Fig. 22 – Indicadores disponíveis no software One Click LCA.....	38
Fig. 23 – Seleção do projeto na software de análise de ciclo de vida.....	39
Fig. 24 – Criação de design.....	40
Fig. 25 – Input dos materiais no One Click LCA.....	40
Fig. 26 – Introdução de outras informações ACV no projeto.....	41
Fig. 27 – Exportação dos resultados ACV.....	43
Fig. 28 – Exportação de resultados CCV.....	44
Fig. 29 – Vista aérea da FEUP.....	48

Fig. 30 – Modelo paramétrico Revit.....	48
Fig. 31 – Planta do Bar Verde.....	49
Fig. 32 – Projetos do caso de estudo.....	49
Fig. 33 – Filtros para seleção do material indicado.....	50
Fig. 34 – <i>VinylConfort Floating</i> [59].....	51
Fig. 35 – <i>Cork flooring floating waterproof</i> [60].....	52
Fig. 36 – <i>Linoleum Flooring</i> [61].....	53
Fig. 37 - <i>Modular carpet tile</i> [62].....	55
Fig. 38 - Painéis de lã de rocha [63].....	56
Fig. 39 - Painéis de isolamento rígido de PIR [64].....	58
Fig. 40 - Paineis Isolante EPS [65].....	59
Fig. 41 - Paineis isolante de fibra de madeira [66].....	60
Fig. 42 - Análise do tempo de vida dos materiais do caso 1.....	68
Fig. 43 - Análise económica dos percentis do caso 1.....	69
Fig. 44 - Análise ambiental dos percentis do caso 1.....	69
Fig. 45 - Análise das soluções finais por hipóteses do caso 1.....	69
Fig. 46 - Análise económica dos percentis do caso 1.....	70
Fig. 47 - Análise ambiental dos percentis do caso 2.....	70
Fig. 48 - Análise das soluções finais por hipóteses do caso 2.....	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Políticas, medidas e ferramentas que promovem a construção sustentável. – Adaptada de [8].....	10
Tabela 2 – Análise das ferramentas segundo os critérios selecionados.....	32
Tabela 3 – Seleção do software.....	33
Tabela 4 – Exemplo de aplicação da análise multicritério.....	46
Tabela 5 – Resultados ACV da solução 1 (caso 1).....	51
Tabela 6 – Resultados CCV da solução 1 (caso 1).....	51
Tabela 7 – Resultados ACV da solução 2 (caso 1).....	52
Tabela 8 – Resultados CCV da solução 2 (caso 1).....	53
Tabela 9 – Resultados ACV da solução 3 (caso 1).....	54
Tabela 10 – Resultados CCV da solução 3 (caso 1).....	54
Tabela 11 – Resultados ACV da solução 4 (caso 1).....	55
Tabela 12 – Resultados CCV da solução 4 (caso 1).....	56
Tabela 13 – Resultados ACV da solução 1 (caso 2).....	57
Tabela 14 – Resultados CCV da solução 1 (caso 2).....	57
Tabela 15 – Resultados ACV da solução 2 (caso 2).....	58
Tabela 16 – Resultados CCV da solução 2 (caso 2).....	58
Tabela 17 – Resultados ACV da solução 3 (caso 2).....	59
Tabela 18 – Resultados CCV da solução 3 (caso 2).....	59
Tabela 19 – Resultados ACV da solução 4 (caso 2).....	60
Tabela 20 – Resultados CCV da solução 4 (caso 2).....	60
Tabela 21 – Aplicação da análise multicritério à hipótese equilibrada (caso 1).....	62
Tabela 22 – Aplicação da análise multicritério à hipótese ambientalista (caso 1).....	63
Tabela 23 – Aplicação da análise multicritério à hipótese económica (caso 1).....	64
Tabela 24 – Aplicação da análise multicritério à hipótese equilibrada (caso 2).....	65
Tabela 25 – Aplicação da análise multicritério à hipótese ambientalista (caso 2).....	66
Tabela 26 – Aplicação da análise multicritério à hipótese económica (caso 2).....	67

ÍNDICE DE MATRIZES

Matriz 1 – Matriz exemplo de cálculo de obtenção de resultados.....	46
Matriz 2 – Solução equilibrada caso 1.....	62
Matriz 3 – Solução ambientalista caso 1.....	63
Matriz 4 – Solução económica caso 1.....	64
Matriz 5 – Solução equilibrada caso 2.....	65
Matriz 6 – Solução ambientalista caso 1.....	66
Matriz 7 – Solução económica caso 1.....	67

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CO₂ – Dióxido de carbono

CFC – 11 – Tricloromonofluormetano

SO₂ – Dióxido de enxofre

C₂H₄ – Etileno

PO₄ – Fosfato

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

AECO – Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

AIA – Avaliação de Impactos Ambientais

BIM – *Building Information Modeling*

BRE – *Building Research Establishment*

CCV – Custos de Ciclo de Vida

CRISP – *Costruction and City Realed Sustainable Indicators*

DAP – Declaração Ambiental de Produto

EPD - *Environmental Product Declarations*

FM – *Facility Management*

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

IFC – Industry Foundation Classes

LCA – Life Cycle Assessment

LCC – Life Cycle Cost

LNEC – Laboratório de Engenharia Civil

OCDE – Organização de Cooperação de Energia e Geologia

PIB – Produto Interno Bruto

ROI – Retorno Sobre o Investimento

TI – Tecnologias de Informação

USGBC – US Green Building Council

3D – Terceira Dimensão

4D – Quarta Dimensão

5D – Quinta Dimensão

6D – Sexta Dimensão

7D – Sétima Dimensão

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O mundo que nos acolhe é, cada vez mais, um relógio com pressa. Os números aceleram-se sem contenção e os quase 8 mil milhões de cidadãos que o habitam prevêem-se perto de 9,8 mil milhões em 2050. Por cada cabeça a mais que se contabiliza nesta equação global, o setor da construção é, também ele, obrigado a crescer. Aumentamos os números: mais população, mais infraestruturas.

A necessidade de responder ao desafio do aumento da população mundial é, contudo, um caminho vicioso para um problema maior da sustentabilidade global. Ao passo que aumentamos as infraestruturas, ampliamos o número de emissões poluentes e a já conhecida reputação de um setor altamente tóxico para o bem-estar do meio ambiente. A atenção sobre o tema já é antiga, mas tem ganho proporções preocupantes nos últimos anos, quando diversas autoridades globais começam a concluir a construção como um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas. O setor é um dos maiores emissores de gases com efeito de estufa e consumidores de matérias-primas na UE e nos EUA, consumindo anualmente cerca de metade [1].

Os números assinalam a urgência de responder ao atual e futuro cenário global, conciliando a atividade produtiva e lucrativa com o desenvolvimento sustentável consciente. O desafio é grande e certamente passará pela reunião de várias soluções. A presente tese pretende ir ao encontro de uma destas propostas. O conceito resulta na criação de uma metodologia simplificada com recurso a ferramentas de análise de ciclo de vida, que permitirá determinar os impactos ambientais dos materiais de construção, com base nas Declarações Ambientais de Produto.

Ainda que valorizando as condições ambientais dos elementos da construção, devemos balancear este conceito com as noções base de Custo de Ciclo de Vida – CCV. Ainda que as inúmeras empresas de construção procurem responder à redução dos impactos negativos associados, nem todos os utilizadores estão dispostos a escolher a solução mais ambientalista sem contabilizar ao mesmo tempo os encargos que esta acarreta ao longo de todas as fases do empreendimento. Um panorama que justifica exatamente a necessidade de uma metodologia integrada, entre Custo de Ciclo de Vida (CCV), Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e *Building Information Modeling* (BIM).

As ferramentas e a facilidade de operação que metodologias como BIM oferecem aos profissionais da Indústria Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tem contribuído para a popularidade e utilidade das mesmas. A metodologia BIM representa um sistema inovador com mais aproximação às tecnologias de informação. Oferecendo várias aplicações para o setor da construção, como produção de informação de forma mais expedita e fiável - conduzindo à criação de projetos mais detalhados e a otimização de custos e prazos na execução de tarefas.

Um modelo BIM vai muito mais além da designada 3ª dimensão (3D). Este não tem apenas a capacidade da definição da geometria e dos materiais, mas consolida também a aptidão para atingir dimensões mais elevadas – análise de planeamento (4D), análise de custos (5D), análise de sustentabilidade e ciclo de vida (6D) ou apoiar na manutenção e operação do edifício (7D). Segundo João Poças Martins, todas as ferramentas BIM encerram um potencial e um leque de funcionalidades de tal ordem vasto que são muitas as vezes que, numa época em que se discute a urgência de modernização no setor da construção, admitem que qualquer alteração na abordagem à gestão de informação deverá considerá-las nos novos processos [2]. Deste modo, é fundamental gerar as circunstâncias necessárias para que a aplicação BIM se torne uma realidade.

À semelhança da metodologia BIM, também a ACV tem assumido um papel preponderante para os profissionais do setor, como recurso para determinar os impactos ambientais, colaborando para a investigação de materiais e edifícios mais sustentáveis e eficientes. Todavia, a interligação entre ferramentas de análise com a metodologia BIM poderiam melhorar as capacidades da ACV.

A integração de ambas com a metodologia CCV permite alcançar maior eficiência e resiliência na construção. Quanto mais cedo a metodologia BIM estiver integrada com a ACV ou com a CCV, melhor se consegue avaliar todas as soluções alternativas e corrigir possíveis problemas do edifício nas fases iniciais do projeto, amplificando a capacidade de alcance de uma solução final mais sustentável.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVO

Esta dissertação surge como elemento final de avaliação para aprovação no Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Propõe-se, por isso, a representar o culminar do que resulta entre os conhecimentos adquiridos ao longo de cinco anos académicos, uma eterna sede de aprendizagem e a firme vontade e dedicação em fazer parte de um setor em crescimento.

A problemática associada à dissertação consiste na necessidade da seleção de elementos da construção tendo em conta a Avaliação de Ciclo de Vida e os Custos de Ciclo de Vida. A contabilização dos impactos ambientais e dos custos ao longo do ciclo de vida dos produtos apresentam a capacidade de influenciar a melhoria da sustentabilidade na construção.

Aqui será empregue a metodologia BIM interligada com ACV e CCV para selecionar os melhores elementos da construção que respondam às condições definidas inicialmente. Esta seleção será auxiliada pela metodologia de análise multicritério, com o objetivo de tornar a análise final simples. Deste modo, neste estudo serão analisados e selecionados possíveis elementos de construção que poderiam ser utilizados no Bar Verde/Cafetaria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A tese é construída com base na representação tridimensional do edifício em estudo, um conjunto de informações sobre os impactes e o custo de ciclo de vida dos materiais que serão alvos de uma análise multicritério para a seleção da melhor solução, munindo dos utilizadores de uma metodologia de seleção de elementos construtivos mais sustentável.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em seis capítulos que reportam a seis fases diferentes da problemática.

No primeiro capítulo, intitulado de **Introdução**, realiza-se um enquadramento geral dos temas abordados ao longo desta e são referidos os objetivos a desenvolver.

Já no segundo capítulo, encontra-se o **enquadramento do conhecimento** que corresponde ao levantamento da informação que se encontra disponível acerca do tema a que se dedica esta dissertação. Neste capítulo retratam-se informações relacionadas com a sustentabilidade na construção e a análise de ciclo de vida.

O terceiro capítulo é dedicado à **interligação entre a metodologia BIM e a análise de ciclo de vida**. Em primeiro lugar, serão expostos os aspetos teóricos que sustentam a metodologia BIM, os dilemas ou dificuldades encontradas pelos profissionais da indústria da AECO na aplicação desta nova abordagem. Neste capítulo, será realizado também um **breve estudo sobre os softwares BIM-ACV-CCV** existentes no mercado e uma reflexão sobre a contribuição de cada um destes para a seleção de elementos na construção.

No quarto capítulo, é proposta e desenvolvida uma metodologia que pretende aplicar estes três conceitos: **BIM-ACV-CCV**. Para tal, é explicado como realizar a ligação entre o programa de modelação com o *software*, extraíndo as informações necessárias para o estudo. Para alcançar o pretendido, são abordadas as seguintes etapas: apreciação do edifício em estudo; modelação do mesmo recorrendo a um programa BIM; introdução de informação relevante para o *software* de ACV e CCV; exportação dos resultados obtidos; aplicação da análise multicritério para seleção do elemento; e, finalmente, seleção do elemento.

No quinto capítulo, é apresentado um **caso de estudo**. A partir da metodologia proposta no capítulo 4, são selecionados possíveis elementos do edifício em estudo.

Numa última análise, o sexto capítulo é dedicado às **conclusões da dissertação**, sintetizando os benefícios retirados da aplicação do método proposto, ao mesmo passo que são feitas referências a propostas de desenvolvimento futuras.

2

ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

2.1.1. ENQUADRAMENTO

A construção sustentável é a solução da indústria da AECO para atingir os objetivos definidos pelo desenvolvimento sustentável. Deste modo, a sustentabilidade na construção é a satisfação das necessidades da população atual sem comprometer o futuro.

No decorrer dos anos, a definição de desenvolvimento sustentável tem sido cada vez mais disseminada, como é possível verificar na figura 2.1. Todavia, a definição com mais consenso encontra-se no relatório de Brutland [3] – “*Entende-se por desenvolvimento sustentável o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades*”. Aliada a esta, existem dois conceitos fundamentais: o conceito das **necessidades**, particularmente as necessidades das populações com mais dificuldades que requerem atenção especial; e a ideia das **limitações** impostas pelo desenvolvimento tecnológico, bem como a organização social na capacidade de o ambiente satisfazer as atuais e futuras necessidades.

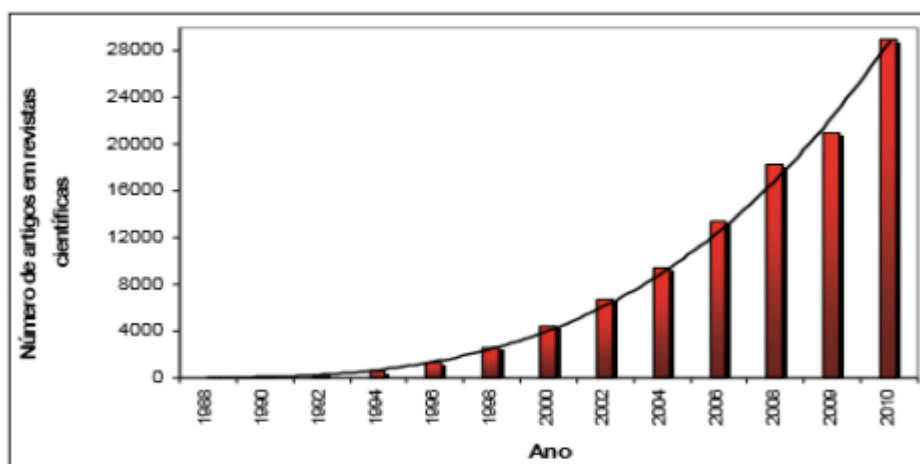


Figura 1- Evolução do número de artigos em revistas internacionais relacionados com o desenvolvimento sustentável. - Adaptada de [4]

Auxiliando a compreensão da definição de desenvolvimento sustentável, a *Enquete Commission of German Bundestag on the Protection of Humanity and the Environment (1994)* sublinha que “sustentabilidade é um conceito de um desenvolvimento perdurável de todos os aspetos económicos, ecológicos e sociais da existência humana. Estes três pilares da sustentabilidade são interdependentes e solicitam coordenação equilibrada”. Acrescenta ainda que a sustentabilidade de uma sociedade está suportada pelo equilíbrio dos “Três Pilares da Sustentabilidade”. O pilar da sustentabilidade social, por exemplo, simboliza a capacidade de uma certa organização em alcançar determinado nível de bem-estar social [5]. Por outro lado, o pilar da sustentabilidade ambiental figura a capacidade do ambiente envolvente em suportar um determinado nível de qualidade ambiental, enquanto é capaz de sustentar uma taxa definida de extração de recursos [6]. Este mesmo apoia iniciativas de reciclagem, energia renovável, gestão de resíduos, redução de consumo e emissões fósseis. Já o pilar da sustentabilidade económica defende a capacidade de sustentar um certo nível de produção económica [5], sobre a ideia de que as organizações devem aplicar os seus recursos de forma a gerar lucros consistentes.

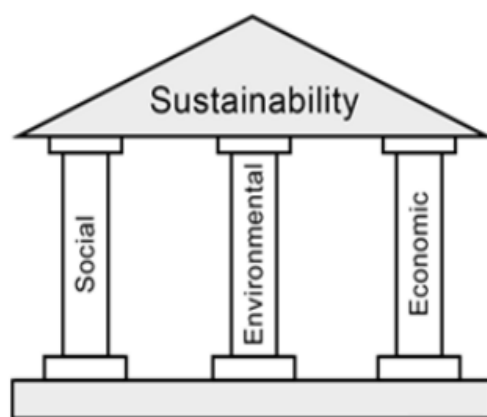


Figura 2 - Os três pilares da sustentabilidade. - Adaptada de [7]

O conceito da Construção Sustentável ainda é, contudo, pouco aplicado em ambiente prático. Segundo Ricardo Mateus [8], o conceito de “construção sustentável” está condicionado economicamente, socialmente e ambientalmente - como suporta a teoria dos três pilares da sustentabilidade. De acordo com o grupo *Construction and City Related Sustainable Indicators (CRISP)*, “com a construção sustentável pretende-se que os produtos da indústria da construção satisfaçam os necessários requisitos funcionais com o menor impacte ambiental possível, enquanto promovem melhorias a nível económico, social e cultural” [9]. Deve, portanto, ser estabelecido o mesmo relevo para cada um dos pilares, procurando alcançar o equilíbrio entre estes.

Por sua vez, a organização de cooperação e desenvolvimento económico (OCDE) define que uma construção sustentável deve centrar-se nos aspetos ambientais globais. Esta organização desenvolveu, segundo o seu entendimento de sustentabilidade, o projeto “*Sustainable Buildings*”, onde expõe princípios que consideram essenciais para atingir este conceito. Analisando o ciclo de vida de um edifício, é possível concluir vários aspetos como altamente prejudiciais para o ambiente, mas caso seja dada especial atenção a estes desde o início, há grande hipóteses de alcançarmos uma construção sustentável. Uma abordagem regida pela perspetiva integrada e sintética dos diversos aspetos da construção. Optando por técnicas construtivas e materiais mais sustentáveis, torna-se possível a redução do consumo de matéria prima, de água ou de produtos energéticos (utilização eficiente de recursos), ao mesmo passo que reduzimos os impactos diretos dentro da construção – diminuição de ruído sonoro ou dos resíduos gerados. Auxiliando todo o ciclo de vida com métodos de Avaliação de Impactos

Ambientais (AIA), aumentamos as possibilidades de obter um edifício sustentável, detetando, ainda numa fase inicial, barreiras à sustentabilidade da obra [8] [10].

Assim sendo, e com o intuito de atingir este equilíbrio e aumentar a sustentabilidade na construção, é necessário tomar decisões durante todas as fases do ciclo de vida, tanto para uma construção nova como para reabilitação. É óbvio que ao realizar uma construção nova devem ser implementadas, de imediato, condições que a tornem o mais sustentável possível, mas o mesmo se aplica à reabilitação. Não é por estar a reabilitar um edifício pouco sustentável que se vai manter o mesmo pouco sustentável após ser reabilitado. Deste modo, é essencial atentar a diversos fatores: seleção correta dos materiais para a construção – materiais de elevada durabilidade, eco eficientes e recicláveis; atentar ao aspeto económico – minimização dos custos de ciclo de vida; Gestão eficientes de recurso; garantir condições de higiene e segurança no trabalho. [8]

A sustentabilidade no território português advém, na sua conceção, à semelhança do panorama mundial, de falhas na gestão, nomeadamente a gestão hídrica. *“À conta dessa má gestão (com um consumo superior à capacidade de recarga), ou devido à poluição, ou por causa de fenómenos naturais associados às alterações climáticas, as maiores reservas de água subterrânea do mundo estão a esvaziar-se de forma alarmante, tendo já passado a linha vermelha da sua sustentabilidade”*, lia-se, em março de 2018, no jornal Expresso [11]. Urge, desta realidade, a necessidade de soluções como a implementação de sistemas de consumo inteligentes, o reaproveitamento de águas pluviais e a implementação de normas de redução da poluição desta fonte, de forma a melhorar a eficiência hídrica.

Também a dependência energética em Portugal se assume como um entrave para o crescimento sustentável. Ainda no Expresso, em Junho de 2017, foi divulgado que o país, apesar de melhorias na dependência de produtos energéticos, ainda é um consumidor ativo de produtos energéticos do exterior – *“Portugal reduziu a sua dependência do exterior com uma queda da importação de vários produtos energéticos. Gás natural, com mais exportações, foi exceção”*. Segundo dados da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), a dependência portuguesa sobre este recurso reduziu de 78.3%, em 2015, para 74.8%, em 2017 [12]. Esta redução deve-se, essencialmente, na aposta do governo português em energias renováveis (hídrica, solar, eólica).

Analogamente aos dois recursos apresentados em cima, o elevado nível de emissões de gases para a atmosfera é outro fator prejudicial à sustentabilidade mundial. Em outubro de 2017, em entrevista ao Expresso, Francisco Ferreira, Presidente da associação ambientalista Zero, afirmou que *“Portugal tem um peso absolutamente diminuto no total de emissões à escala global, mas isso não significa que estejamos a fazer tudo bem. Há uma margem de manobra muito substancial na redução de emissões”* [13]. Sendo a construção um dos principais contribuidores para a libertação de gases para atmosfera, a seleção de elementos da construção sustentáveis visa a reduzir o nível deste impacto, que diretamente irá contribuir para a destruição da fauna e da flora.

Com esse foco em vista, o governo português integrou o país em dois projetos essenciais para o desenvolvimento sustentável: Portugal 2020 [14] e Agenda 2030 [15]. Ambos os projetos visam a promoção dos três pilares da sustentabilidade, tendo como objetivo o equilíbrio entre estes, promovendo o crescimento inclusivo, sustentável e inteligente.

Os três pilares da sustentabilidade são fundamentais para atingir um desenvolvimento equilibrado. Com o objetivo de obter edifícios mais sustentáveis, o *International Council for Research and Innovation in Building Construction* (CIB), baseado na definição da construção sustentável desenvolvido por Kibert (2016) – *“a criação e manutenção de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos”* -, desenvolveu princípios para melhorar o crescimento

sustentável. [16] A integração entre a proteção ambiental e o conceito dos 3 R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) são parte vital na melhoria de um dos pilares. Porém, os princípios do CIB visam ainda sustentar a economia (Análise dos Custos de Ciclo de Vida) e assegurar a qualidade de vida e recursos (pilar social) [8].

2.1.2. IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO

O setor da construção nasce e vive para satisfazer as necessidades básicas e fundamentais da sociedade, através da construção de infraestruturas – edifícios, estradas, pontes. Define-se, deste modo, como um setor em constante desenvolvimento e com forte atividade económica. É, contudo, e como se tem vindo a sublinhar até aqui, um dos setores com mais impacto negativo na luta pela sustentabilidade.

Potenciando a construção sustentável, o Programa Ambiental das Nações Unidas efetuou um estudo dos impactos ambientais e sociais que estão ligados aos trabalhos na construção. A nível ambiental, aponta a produção de poluição atmosférica, sonora e de resíduos, a excessiva extração de matérias primas, a diminuição da biodiversidade devido à alteração do solo e a utilização de recursos hídricos e energéticos. Já a nível social, a degradação do aspeto estético de cidades, o desmembramento de comunidades e os consequentes riscos de saúde para os ocupantes do estaleiro de obra.

Fundamental para o desenvolvimento das comunidades, devido ao desenvolvimento das infraestruturas, a construção tem, inclusive, um importante contributo no PIB mundial e na criação de empregos. Em Portugal, de acordo com o Expresso, “*se a federação da indústria confirmar, a produção em 2018 valerá 11,8 mil milhões, o equivalente a 6,6% do Produto Interno Bruto.*” [17]. Fazendo um balanço dos dados, é possível concluir, então, que o impacto económico não se revela tão significativo como os impactos sociais e ambientais.

Contudo, neste momento, é sobre a consciência da existência de três principais impactos que se impõe o desafio de estabilizar os três pilares fundamentais da sustentabilidade. Tendo como principal objetivo apresentar lucros, por vezes sem medir as consequências, cria-se uma situação desequilibrada na construção, como podemos ver na figura 3.



Figura 3 - Os Três Círculos Sobrepostos da Sustentabilidade. - Adaptada de [7]

Sobre o pressuposto dos impactos ambientais no setor, o *US Green Building Council* (USGBC) produziu um relatório que aponta quais os diretamente ligados à construção. De acordo com os dados partilhados, o setor consome cerca de 40% de matéria prima consumida globalmente. Os materiais que são utilizados na construção consomem-se, assim, como uma das principais causas dos nefastos impactos ambientais. Depois de construídos, os edifícios são grandes consumidores de água potável (estima-se 13.6% de água potável – 15 triliões de litros/ano), de energia (estima-se 41% com um crescimento de 1.8% até 2030) e produtores de CO2 (estima-se 40% do dióxido de carbono mundial) [8]. Além disso, apontado desta vez

pela Agência Portuguesa do Ambiente, só em 2015 a demolição e os resíduos na construção foram responsáveis por 1.5 milhões de toneladas [18].

2.1.3. MEDIDAS DE SUSTENTABILIDADE

Para reduzir os impactos negativos e aumentar a sustentabilidade na indústria da AECO, apontamos a qualidade de vida, o meio ambiente circundante, a conservação de energia e recursos e a redução de substâncias nocivas à sustentabilidade na construção como os principais protagonistas e resultados esperados desta batalha.

Há quem já lute com todas as armas para mudar os números. É o caso da *startup* portuguesa Eco2Blocks. Conscientes da dependência de uma matéria-prima como o cimento, dão uma nova vida a resíduos industriais e ao dióxido de carbono para desenvolver blocos para construção civil. A ideia valeu-lhes, em junho de 2018, a medalha na competição tecnológica ClimateLaunchpad, que aconteceu no Porto ao abrigo da Comissão Europeia, para galardoar ideias inovadoras que promovam a redução do impacto ambiental [19].

Na raiz da teoria que fez nascer esta *startup* vencedora, vive também a consciência de que, enquanto profissionais, a ação no sentido de uma construção sustentável deve abranger as quatro fases do ciclo de vida – conceção, construção, operação e demolição. Para cada uma, segundo o Dr. Eng.º Ricardo Mateus, existem importantes medidas a serem implementadas.

Tabela 1 - Políticas, medidas e ferramentas que promovem a construção sustentável. - Adaptada de [8]

	Conceção	Construção	Operação	Demolição
MEDIDAS	<p>Incorporação da sustentabilidade nos códigos e normas;</p> <p>Promoção de metodologias consensuais de apoio à conceção de construções sustentáveis;</p> <p>Promoção da sustentabilidade nas obras públicas;</p> <p>Formação adequada das equipas de projeto;</p> <p>Atribuição de prémios a projetos-piloto;</p> <p>Taxas bonificadas para acesso ao crédito;</p> <p>Prémios de seguros menos elevados;</p> <p>Planeamento da utilização do solo; Zonamento do território;</p> <p>Regulamentos (p.e. eficiência energética).</p>	<p>Benefícios fiscais na aquisição de materiais e equipamentos mais sustentáveis;</p> <p>Análise de todos os custos com materiais;</p> <p>Leis de trabalho e normas que promovam a sustentabilidade nos trabalhos de construção;</p> <p>Implementação de sistema de gestão da qualidade, saúde e ambiente nos estaleiros.</p>	<p>Benefícios fiscais na aquisição de equipamentos mais sustentáveis;</p> <p>Formação adequada dos utilizadores;</p> <p>Promoção de metodologias consensuais de avaliação e certificação da sustentabilidade;</p> <p>Taxas bonificadas no IMI;</p> <p>Análise de todos os custos;</p> <p>Implementação de sistema de gestão ambiental.</p>	<p>Regulamentos acerca do tratamento dos resíduos de construção (reciclagem, incineração e deposição em aterros);</p> <p>Taxas (no caso da deposição e incineração)</p>

A redução dos impactos ambientais será tanto mais bem sucedida quanto maior atenção for dedicada durante todas as fases de ciclo de vida. Inicialmente, é essencial que, na seleção dos produtos, se tenha em conta o processo de fabrico dos mesmos. Por exemplo, selecionando materiais biodegradáveis ou recicláveis. Num segundo momento, já durante a construção propriamente dita, deve-se atender à melhor gestão possível sobre os resíduos produzidos e o estaleiro de obra. A eficácia desta última ação pode ser

feita através da introdução de postos de reciclagem, bem como da promoção da técnica dos míticos 5 S's — um ideal japonês que pressupõe a implementação de cinco conceitos: em português, arrumação, ordem, limpeza, padrão e disciplina. Uma gestão regida por estes conceitos conduz a uma melhor organização no ambiente de trabalho, gerando menos desperdícios. Numa última instância, conscientes dos edifícios como um dos principais responsáveis globais pelo consumo de recursos energéticos e hídricos, é fundamental que, desde cedo, se implementem medidas que os possam tornar mais autónomos. Falamos, por exemplo, do recurso à energia solar, do uso de metodologia *lean* para redução energética e implementação de tecnologias hídricas [20] [21] — como o reaproveitamento de águas.

Os recursos escolhidos pelos profissionais do setor são um fator determinante no histórico de propostas que visam contribuir para uma maior sustentabilidade na construção. Os materiais que são utilizados nas construções têm um papel significativo na produção do CO₂ mundial e de outros impactos ambientais. Foi neste sentido que Joe Peach [22] decidiu propor quatro principais materiais capazes de criar melhorias significativas num resultado com menos impactos tão nefastos para o meio ambiente e, consequentemente, para a saúde pública.

Começa por enunciar o tijolo de lã, como alternativa aos materiais tradicionalmente utilizados para revestimento exterior. Além de amigos do ambiente, estes tijolos são 37% mais resistentes do que os tijolos convencionais, perfeitamente adaptáveis a climas húmidos e frios. No campo dos elementos externos, Joe Peach propõe ainda as telhas solares como uma opção sustentável. Enquanto que as telhas tradicionais são normalmente fabricadas por métodos que consomem elevados níveis de energia, as solares conseguem produzir energia através da absorção da radiação solar.

O terceiro elemento é um dos principais recursos na construção: o betão. O autor propõe a utilização de betão sustentável, produzido a partir de materiais reciclados como vidro triturado ou lascas de madeira. Ainda que estas alterações na composição do betão não o tornem de forma significativa num material sustentável, possibilitam a redução das emissões de CO₂ e a utilização de materiais que de outra forma seriam desperdiçados.

Ao nível do isolamento, Joe Peach enuncia o isolamento de papel, criado a partir de jornais reciclados ou papelão, como alternativa às espumas químicas. Como refere, para além de ser resistente a insetos e um retardante de fogo — devido à inclusão de bórax, ácido bórico e carbonato de cálcio —, este género de isolamento pode ser soprado em caixas de ar de paredes, preenchendo cada rachadura e criando um quase espaço livre.

A mudança integral faz-se balanceando os benefícios e malefícios de cada material utilizado e apelando, de forma consciente, à constante escolha dos materiais mais sustentáveis. Não existiam, contudo, até agora, metodologias que facilitassem este processo de seleção, por vezes moroso. Surge, com a presente tese, uma primeira e simplificada proposta de metodologia.

2.1.4. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO

Com vista a melhorar a sustentabilidade do ciclo de vida dos edifícios, é necessária uma interligação entre o ciclo de vida dos edifícios e os três pilares da sustentabilidade. Todavia, devido à existência de uma grande diversidade de critérios de avaliação, quantitativos e qualitativos, facilmente se conclui que esta ligação só poderia ser realizada através de um processo metódico. Desta forma, nos finais dos anos 80, procede-se à criação de um sistema de avaliação com o objetivo de avaliar os impactos, negativos e positivos, que a construção possa ter no ambiente, elaborando posteriormente medidas de minimização dos impactos ambientais negativos e valorização dos positivos [23].

Como resposta a este desafio, são, entretanto, criados os sistemas de avaliação e certificação, definindo-se como metodologias de apoio à conceção e avaliação da sustentabilidade que permitem transformar o conceito em limites objetivos e tangíveis, basilares para a troca de informação essencial para as decisões durante as diferentes fases do ciclo de vida de um edifício [8]. Estes sistemas permanecem em constante evolução, aumentando a sua aplicação. Um dos principais objetivos dos mesmos é que este processo “possa ser facilmente adaptado aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção” [24].

O Reino Unido faz-se pioneiro e dá início à criação destes sistemas através do **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), propagando-se posteriormente pela América, de onde surge o **LEED** (*Leadership in Energy & Environmental Design*) – desenvolvido pelo *United States Green Building Council* (USGBC).

Atualmente, são já diversos os sistemas de avaliação distribuídos globalmente, entre eles: o **BEPAC** (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) desenvolvido pelo Canadá; o **CASBEE** (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*), com origem no Japão; o **GBC** (*Green Building Challenge*) do Canadá e posteriormente desenvolvido por um consórcio internacional; o **HQE** (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*), de França; o **LIDERA** (Sistema Voluntário para Avaliação da Construção Sustentável, português); o **NABERS** (*National Australian Buildings Environmental Rating System*) e a **GREEN STAR**, criados na Austrália — e considerados os mais relevantes atualmente —; a **EDIP** (*Environmental Assessment Framework*), desenvolvido pela Dinamarca; a **PROMISE** (*Environmental Assessment and Classification System for Residential, Office and Retail Building in Finland*), pela Finlândia; o **ECOINDICATOR** da Holanda; o **ECOPROFILE**, oriundo da Noruega; a **BRE ECOHOMES** e a **CEEQUAL** (*Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme*), a par com o já mencionado sistema BREEAM criado pelo Reino Unido; o **HK-BEAM** (*Hong Kong Building Environment Assessment Method*) de Hong Kong; o **EPIQR** (*Energy Performance Indoor Environmental Quality and Retrofit*) e o **DGNB** (*German Sustainable Building Council*), ambos pela Alemanha; e a **Environment Status Building**, desenvolvido pela Suécia.

2.2. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

2.2.1. ENQUADRAMENTO

Representando cerca de 9% do Produto Interno bruto (PIB) [25], o ramo da construção é, simultaneamente, o mais significativo, a nível da UE, no consumo de energia final (40%) e emissões de gases com efeito de estufa (35%) [26]. É em virtude disso que a UE tem impulsionado o conceito de ciclo de vida na indústria da construção [25], de forma a atingir os objetivos sustentáveis a que se propõe.

Segundo a norma ISO 14040:2006 [27], a Avaliação do Ciclo de Vida consiste numa “compilação e avaliação de todos os *inputs*, *outputs* e dos potenciais impactos ambientais de um produto, ao longo do seu ciclo de vida”. Isto é, a ACV do empreendimento manifesta-se como um meio de avaliação do impacto ambiental da indústria da construção, possibilitando reconhecer os aspetos a melhorar para alcançar uma maior sustentabilidade.

A fase de conceção é, provavelmente, a mais importante do ciclo de vida, pois aqui são tomadas todas as decisões que podem influenciar as restantes etapas — ainda que no início do projeto se defina o que se irá gastar e, simultaneamente, se estime a maior parte do custo do empreendimento. É na fase da operação/manutenção que se pode intervir em maior escala. Este sinal é óbvio quando falamos da fase

mais longa, uma vez que a mesma acontece durante todo o tempo de vida útil de um edifício (geralmente são construídos para uma vida útil de 50 anos). Mais tempo de vida, maior a possibilidade de intervenção.



Figura 4 - Possibilidade de intervenção Vs Custos no ciclo de vida. – Adaptada de [28]

2.2.2. FASES DE CICLO DE VIDA DA CONSTRUÇÃO

Durante o capítulo, têm sido enunciadas as diferentes fases do ciclo de vida na construção e, por isso, torna-se vital compreender quais é que são os seus principais valores. Estas são constituídas fundamentalmente por quatro etapas distintas - conceção do projeto, construção, operação (manutenção) e desativação (demolição). Alcançar conectividade entre fases é fundamental para obter as melhores soluções.

i. FASE DE CONCEÇÃO

A conceção é a primeira fase do ciclo de vida de um empreendimento e acarreta uma importância preponderante para a sustentabilidade do edifício ao longo do seu ciclo de vida, pois irá influenciar as restantes. [23]

A escolha do local, dos materiais a utilizar, das necessidades de água e de energia, fornecedores, conceção da obra são ações vitais nesta fase. Decisões inteligentes e conscientes durante esta podem originar uma conceção sustentável a todos os níveis. [23]

ii. FASE DE CONSTRUÇÃO

Esta fase está associada à intervenção no local, uso do solo, consumo de materiais, energia, água e uma possível alteração do ambiente que rodeia a construção. Aqui urge a necessidade de adquirir materiais considerados “amigos do ambiente”. Todavia, os impactos relativos à produção do material (extração, transformação, entre outras etapas) são da responsabilidade da produtora e não do setor da construção.

Além de evitar a ocorrência de muito impactos associados, uma escolha correta na fase da conceção também pode evitar a criação de resíduos em excesso. Neste sentido, a indústria da AECO com vista a

aumentar a qualidade do ciclo de vida deve reutilizar ou reciclar todos os inertes que restam da obra e evitar o envio destes para algum aterro.

A importância desta fase no caminho para a sustentabilidade prende-se pela comprovação de resultados a curto e médio prazo [23].

iii. FASE DE OPERAÇÃO

A fase de operação personifica o auxílio aos problemas relacionados com a manutenção de um edifício durante a vida útil do mesmo. O objetivo principal passa por proteger a edificação numa fase preliminar para reter o valor dos investimentos na propriedade e manter um edifício a cumprir a sua finalidade, certificando-se de que apresenta um exterior atraente [29]. É aqui também que encontramos um conjunto de intervenções técnicas e administrativas planeadas e destinadas à prevenção ou à correção de ligeiras anomalias, para que os edifícios atinjam/aumentem o seu tempo de vida útil previsto, sem perda de desempenho funcional [30].

iv. FASE DE DESATIVAÇÃO

Um dos principais objetivos do ciclo de vida dos produtos de construção é que deve ser mais seguro, saudável e sustentável em todas as suas fases. A desativação não foge à regra.

Apesar de os resíduos serem o impacto principal durante esta fase, também o consumo dos materiais, de energia e das emissões sonoras perturbadoras (vibrações e ruídos) se consumam um problema. Durante a demolição é importante que esteja associada a noção dos três R's (reduzir, reutilizar e reciclar), com vista a reduzir a utilização de vazadouros e de recorrer à procura de novos materiais.

2.2.3. FASES DE IMPLEMENTAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Segundo as normas ISO 14040 e 14044, a implementação da avaliação de ciclo de vida está dividida em quatro as fases distintas mas interdependentes, tal como ilustra a figura 5. Deste modo, o desempenho numa determinada fase pode afetar na execução da próxima e, até, corrigir esta, se necessário.

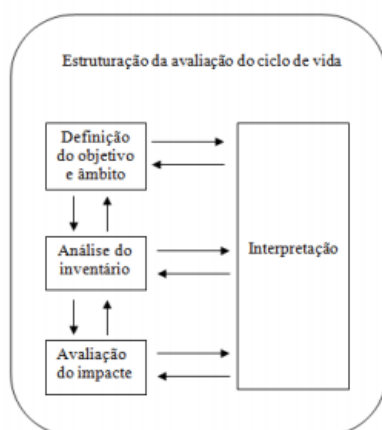


Figura 5 - Fases de implementação da ACV. - Adaptada de [27]

I. Definição do objetivo e âmbito

No decorrer desta fase, são enunciados e detalhados os objetivos em concordância com o contexto estabelecido, sendo identificados: os objetivos; o público-alvo da avaliação; as diversas etapas que compõem o ciclo de vida do edifício e a sua relevância para o objetivo do estudo; é ainda definida a unidade funcional que será avaliada, as condições fronteiras e a metodologia para a alocação dos impactos e consumo de matérias-primas nos diversos processos [8].

Com o intuito de utilizar os dados de entrada e de saída para estudo da metodologia, utiliza-se a unidade funcional e os processos a incluir são elucidados pela fronteira do sistema.

II. Inventário de ciclo de vida (ICV)

“É a fase da avaliação do ciclo de vida que envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”, afirma a *International Organization for Standardization*, [4]. Isto é, o ICV necessita de recolha, descrição e verificação de dados de *input* e *output*. Por exemplo, alguns dos quantificados são os materiais, a matéria-prima e a energia utilizados e ao nível dos *outputs*, as emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos sólidos.

Esta é uma fase extensa, porque é recorrentemente preciso recolher, junto das unidades competentes, dados relacionados com sistema produtivo. Para tal, é essencial desenvolver um ou mais questionários para recolha de dados necessários para esta fase que são basilares à realização da Análise de Ciclo de Vida. Todavia, nos dias de hoje, na maioria dos casos, não é necessário recorrer à metodologia de recolha de informação através de questionários, pois a informação pode ser encontrada em bases de dados, bibliografias ou na *internet*. Ainda assim, é essencial utilizar os dados encontrados de forma criteriosa, especialmente os que advém de fontes desconhecidas. [8]

Desta forma, o Inventário do Ciclo de Vida é um processo iterativo. Quanta mais informação detiver, melhor é o sistema, possibilitando a identificação de requisitos ou limitações que obriguem a alteração de paradigma. As diversas etapas do ICV são apresentadas na Figura 6.

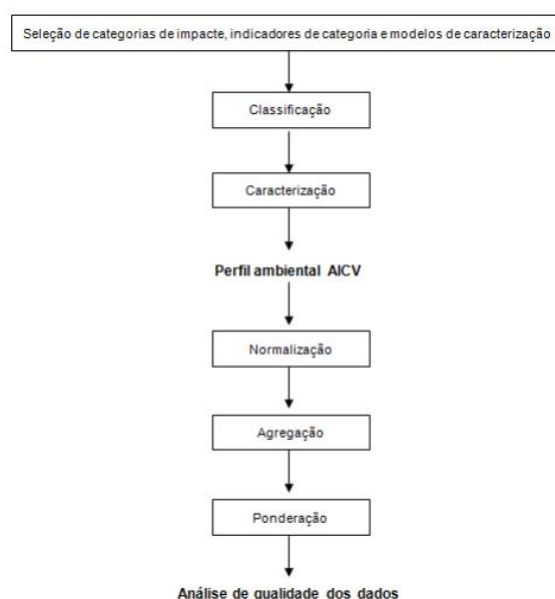


Figura 6 - Etapas do ICV. - Adaptada de [14]

III. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

O objetivo primordial desta fase consiste na avaliação de potenciais impactos ambientais, através dos dados recolhidos na análise do inventário do ciclo de vida.

Segundo a norma ISO 14044, esta fase encontra-se subdividida em duas etapas obrigatórias (classificação e caracterização) e duas opcionais (normalização e agregação). De acordo com a mesma norma, um estudo que não inclua as etapas de classificação e caracterização, não poderá ser denominado de análise de ciclo de vida, mas sim de inventário de ciclo de vida (ICV) [31].

Os resultados alcançados na fase de inventário (ICV) usualmente inclui imensos parâmetros e emissões diferentes. Desta forma, a etapa de classificação abrange a distribuição dos resultados na fase ICV pelas diversas categorias de impacto que são relevantes para o objetivo da análise. Neste caso, também é exequível atribuir certas emissões, em simultâneo, a categorias de impacto distintas.

Por outro lado, a etapa de caracterização abrange o estudo da contribuição relativa de cada um dos resultados do inventário no valor do indicador de cada categoria de impacto ambiental. Independentemente de ser possível que diferentes emissões possam contribuir na mesma categoria de impacto, a sua contribuição não é igual. Para tal, é imprescindível a definição de diversos fatores de caracterização associados a cada emissão e às diferentes categorias de impactos.

IV. Interpretação

A última fase e a frequentemente nomeada como a mais importante. Aqui são analisados os processos e materiais que mais contribuem para os impactos de um produto e são realizadas as análises de sensibilidade e incerteza. Isto é, os resultados da análise do inventário e da avaliação do impacto do ciclo de vida são analisados simultaneamente, de maneira a obter conclusões e uma descrição dos resultados de forma coerente. Posteriormente, é ainda realizada uma revisão dos resultados por parte de

uma entidade especialista independente, principalmente quando os resultados das comparações são para ser divulgados publicamente [8].

2.2.4. VARIANTES ACV

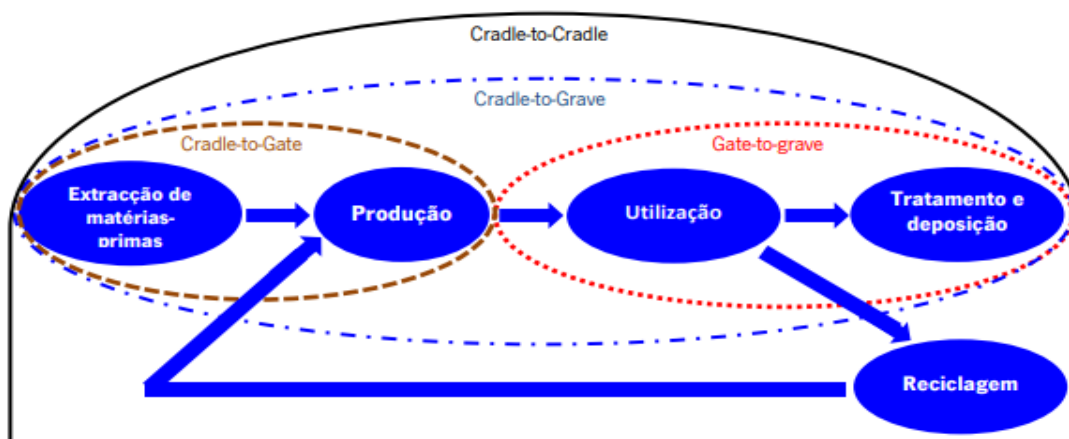


Figura 7 - Representação das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das variantes da ACV. – Adaptada de [8]

A avaliação do ciclo de vida apresenta três variantes, em função das suas fases que são estudadas [31]:

- *Cradle-to-grave* (“do berço ao túmulo”): análise feita desde a extração das matérias primas (berço) até à fase de deposição (túmulo).
- *Cradle-to-gate* (“do berço à porta”): inclui os processos desde a extração até à porta da fábrica, ao consumidor final.
- *Cradle-to-cradle* (“do berço ao berço”): é uma variante da análise cradle-to-grave, na qual a última etapa corresponde a um processo de reciclagem.

2.2.5. DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTOS (DAP's)

Atualmente, as DAP's apresentam elevada importância na avaliação de ciclo de vida dos edifícios. Com frequência, estas declarações apresentam os resultados obtidos de cada categoria num formato de lista, revelando-se uma fonte fidedigna para a quantificação de desempenho ambiental dos elementos construtivos.

Para que todos os resultados das DAP's possam ser utilizadas com confiança e segurança, estas declarações seguem determinadas regras estabelecidas pelas *Product Categories Rules* (PCR's). Além de estarem de acordo com as normas ISO 21930, ISO 14025 e a ISO 14040, traçam detalhadamente o procedimento da análise de ciclo de vida para o desenvolvimento das DAP's e incluem a listagem das categorias de impacto ambiental que deverão ser analisadas e a identificação dos métodos ACV que deverão ser empregues. [32]

Vulgarmente, nas DAP's é possível depararmo-nos com informações sobre as seguintes categorias de impacto ambiental [8]:

- Recursos não renováveis (incluindo ou não o conteúdo energético);
- Recursos renováveis (incluindo ou não o conteúdo energético);
- Aquecimento global (em kg equivalentes de CO₂);
- Destruição da camada de ozono (em kg equivalentes de CFC-11);
- Acidificação (em kg equivalentes de SO₂);
- Formação de oxidantes fotoquímicos (em kg equivalentes de C₂H₄);
- Eutrofização (em kg equivalentes de PO₄).

2.2.6. ANÁLISE DOS CUSTOS DE CICLO DE VIDA (CCV)

A Avaliação dos Custos de Ciclo de Vida de um edifício é mais direta, consensual e objetiva do que, por exemplo, a avaliação do desempenho ambiental. Atualmente, existem diversas metodologias CCV e é possível encontrar dados quantitativos em várias bases de dados publicadas. Em Portugal, destaca-se a publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) designada “Informação Sobre Custos na Construção”. Esta expõe dados sobre os custos relativos à construção, incluindo lucros, associados a diversas soluções construtivas e é atualizada periodicamente, sempre que as flutuações dos preços no mercado sejam superiores a 10% [8]. Universalmente, os Custos de Ciclo de Vida consistem na análise de todos os custos de um produto, processo ou atividade ao longo da sua vida (figura 8).

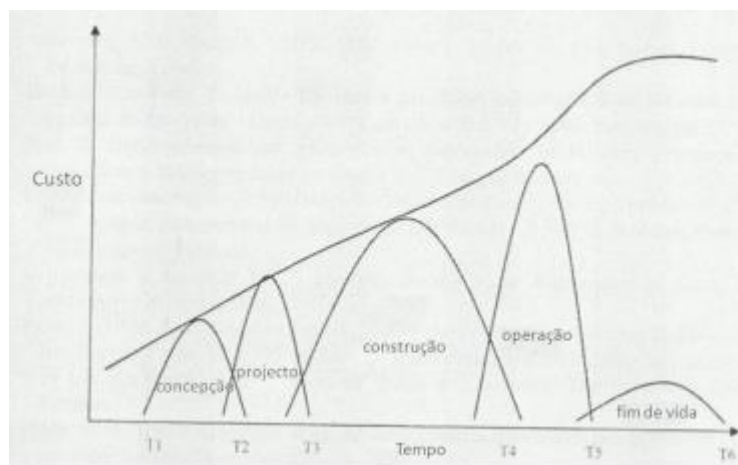


Figura 8 - Custos do ciclo de vida. – Adaptada de [33]

Esta avaliação é um método que soma os custos de investimento associados ao período do ciclo de vida em estudo. A soma total é geralmente apresentada sobre duas formas: valor líquido atual ou custo anual. Este método é utilizado para comparar soluções construtivas ou edifícios que satisfaçam o mesmo nível de desempenho. Estas comparações permitem verificar qual a solução que apresenta custos mais baixo durante o período em estudo é, por conseguinte, a solução de melhor desempenho económico.

O processo de avaliação dos custos de ciclo de vida pode abranger os custos de projeto, custos de construção, custos de operação, custos de manutenção, custos de reabilitação e custos de demolição/desconstrução. Simplificadamente, estes podem ser calculados através da contabilização dos

recursos desembolsados ao longo do ciclo de vida. Porém, o valor residual, associado ao potencial de reutilização e reciclagem, não é geralmente considerado.

Ao contrário do que a generalidade da sociedade conclui, a maioria dos custos de ciclo de vida não estão centrados na construção, mas sim na exploração e manutenção do edifício (figura 8) [34]. Nessa lógica, os CCV são uma metodologia de carácter económico que contribui para uma seleção mais eficiente da solução construtiva visando todas as etapas do ciclo de vida da construção. Com o propósito de normalizar este conceito tendo em vista uma sustentabilidade económica para o setor, foi desenvolvida a norma ISO 15686-5, que define os CCV como uma metodologia que permite uma comparação entre avaliações de custos feitas durante um período de tempo específico, tendo em conta todos os fatores económicos relevantes em termos de custos iniciais bem como em custos operacionais futuros [35].

Para que a análise dos custos do ciclo de vida seja amplamente aceite, as preocupações acerca das incertezas nas previsões devem ser tratadas e reduzidas progressivamente. Tal pode ser feito através da recolha de informação mais fiável, através do desenvolvimento de modelos de previsão mais fiáveis ou introduzindo as incertezas no sistema fazendo com que o nível de risco seja quantificado. Empreiteiros, fornecedores com o dono de obra devem ser encorajados a colaborar e a proporcionar informação fiável acerca da durabilidade, manutenção e substituição dos produtos, facilitando a previsão do funcionamento do edifício a longo prazo [36].

Numa comparação dos custos de ciclo de vida de dois produtos, é essencial que se considere o mesmo período para cada solução, mesmo que a vida útil de cada um seja estas distinta. O período de vida a considerar na comparação varia consoante a perspetiva do interveniente, no ciclo de vida do edifício, que se encontra a realizar o estudo.

3

METODOLOGIA BIM NA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

3.1. BIM NA INDÚSTRIA DA AECO

A metodologia BIM consiste na “*representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, atua como um recurso de partilha de informação para obter informações sobre uma obra, formando uma base fiável de auxílio à tomada de decisão durante o seu ciclo de vida, desde o início em diante.*” [37]. Este acrónimo pode ser designado por duas maneiras distintas – *Building Information Model* ou *Building Information Modeling*. Enquanto que a primeira se refere especificamente ao modelo, ou seja, à representação digital, a segunda alude à “*ação de criar um modelo eletrónico de uma obra, com propósitos de visualização, análises para fins de engenharia, análises de conflito, verificação de critérios de código, engenharia de custos, pré-fabricação, orçamentação, entre muitos outros.*” [37].

Abrangendo todo o ciclo de vida dos edifícios, baseia-se num modelo 3D inteligente que tem integrado objetos paramétricos. Permite a possibilidade de identificar e corrigir colisões, interferências, erros na fase de projeto e obter de forma imediata quantidades, pormenores, cortes, vistas, alçados, características dos materiais e custos na sua fase de construção.



Figura 9 - BIM no ciclo de vida do edifício. - Adaptado [38]

O setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação apresenta importância significativa na economia mundial, contudo, geralmente, prefere recorrer a metodologias tradicionais em vez de inovadoras. Este panorama resulta de um ceticismo da indústria da construção relativamente às tecnologias de informação (TI).

A perda de informação durante as passagens das diferentes fases do ciclo de vida, como podemos verificar na figura 10, assume-se como um destes grandes desafios. Neste caso, a situação ideal pode ser alcançada recorrendo à metodologia BIM. Melhor dizendo, o BIM é a criação e gestão de uma base de dados, que gera uma base para os processos construtivos, redução de custos e tempo com a análise de diferentes cenários e soluções, bem como interação entre os diferentes intervenientes.

A fim de melhorar esta mesma interação e transição de informação entre as fases do ciclo de vida, o Autodesk criou, inclusive, uma ferramenta designada ‘BIM 360 TEAM’, que permite a interação em simultâneo de todos os intervenientes da obra.

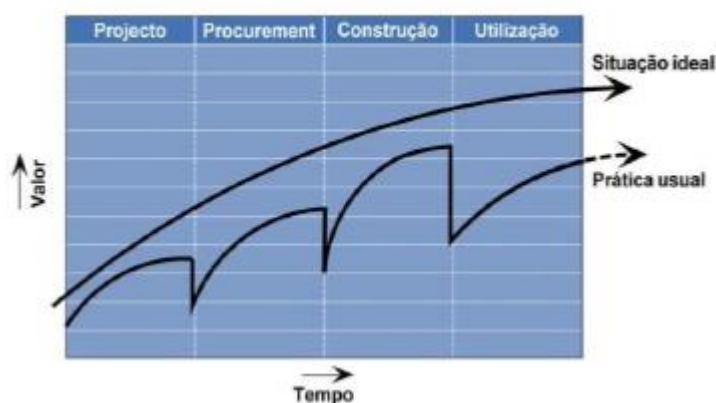


Figura 10 - Passagem de informação entre especialidades [2]

O reconhecimento do BIM como ferramenta-chave para a evolução do setor encontra-se patente na Diretiva Europeia relativa à Adjudicação de Contratos públicos, onde fica referido que “*os Estados-Membros podem exigir a utilização de instrumentos eletrónicos específicos, tais como instrumentos de modelização eletrónica de dados de construção ou similares.*” [39]. Esta diretiva, redigida pelo Parlamento Europeu, impulsionou diversos países de todo o mundo a implementarem o uso de tecnologia BIM nos seus projetos. Exemplo disso são os casos de Reino Unido, Estados Unidos da América, Austrália, Singapura, China, Hong Kong, Holanda, Dinamarca, Noruega ou Finlândia [40] e [41].

Segundo o relatório da SmartMarket, publicado pela McGraw Hill Construction, os empreiteiros reconhecem uma diversidade de benefícios importantes relacionados com a utilização do BIM. O benefício principal passa pela redução de erros e omissões existentes num projeto, tendo uma importante influência para uma análise do retorno sobre o investimento (ROI) do BIM. A colaboração entre os membros, o reforço da imagem da organização, redução de trabalho repetido e de custos na construção são também reconhecidos como benefícios importantes para os empreiteiros com a utilização do BIM.



Figura 11 - Principais benefícios identificados com a implementação BIM. - Adaptada de [42]

Através do estudo da dissertação de mestrado que visa a implementação de BIM em Portugal realizado pela Eng^a Maria Venâncio [43], verifica-se uma percentagem elevada de intervenientes a considerar esta metodologia “muito importante” ou “importante” num prazo de cinco anos. Deste modo, podemos facilmente concluir que o setor da construção em Portugal está gradualmente a consciencializar-se sobre a relevância deste sistema e vai adotando a metodologia BIM nos seus processos.

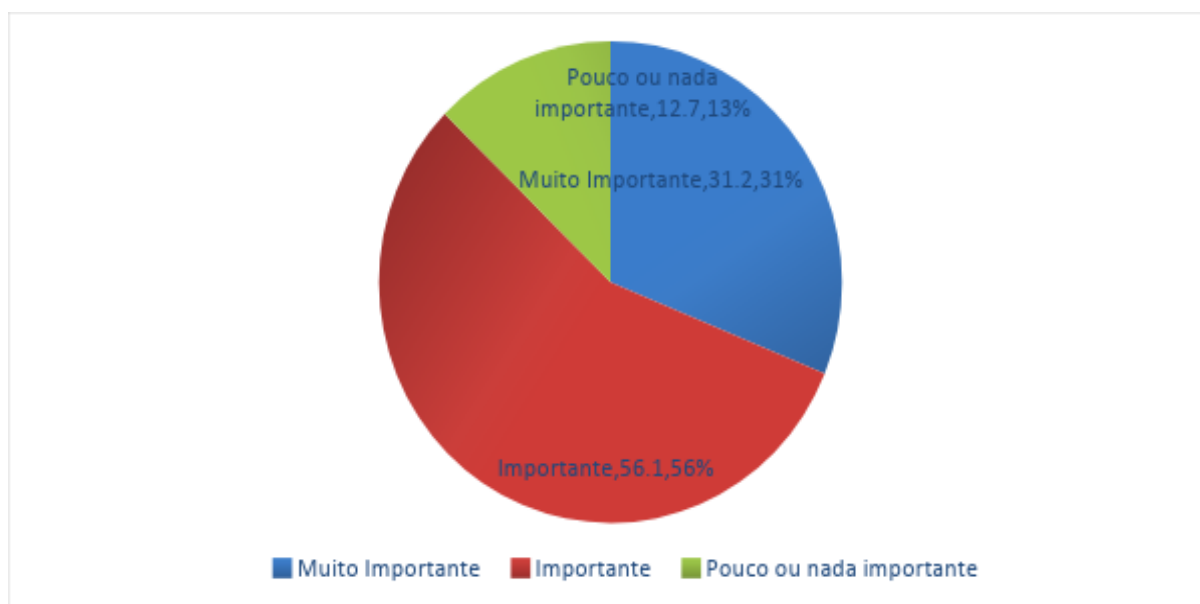


Figura 12 - Importância da metodologia BIM em 5 anos em Portugal. – Adaptada de [43]

Apesar de existir consciência da importância do BIM no setor da construção português, a indústria da AECO em Portugal partilha a opinião acerca dos benefícios da metodologia BIM apresentados no relatório de McGraw Hill Construction [42]. Através da metodologia, é possível reduzir erros e omissões, melhorar na compreensão pela visualização tridimensional, na estratégia de marketing e na fiabilidade na coordenação, bem como obter uma maior qualidade geral do projeto [43].

Entre os vários profissionais da construção, as opiniões dividem-se e provam que ainda existem constrangimentos à utilização de BIM - como se pode verificar na figura 13.

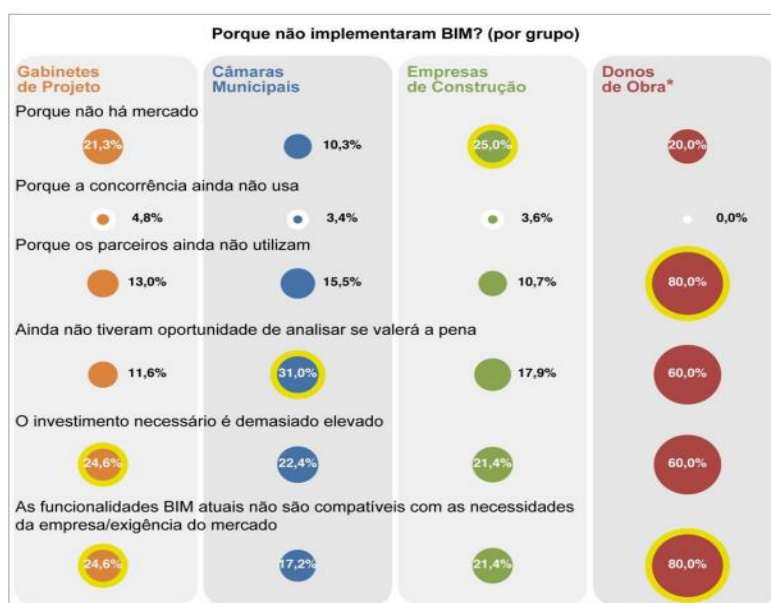


Figura 13 - Motivos pelos quais não implementaram BIM de acordo com o grupo inquirido. – Adaptada de [43]

Nas respostas cedidas pelos gabinetes de projeto, as duas principais razões prendem-se pelo investimento elevado que é necessário e o facto de as funcionalidades que esta metodologia apresenta não serem compatíveis com as necessidades da empresa ou as exigências do mercado. O motivo menos valorizado é o facto de a concorrência não usar.

No caso das Câmaras Municipais, verifica-se que ainda não tiveram oportunidade de analisar se valerá a pena implementar.

Para as empresas de construção, a razão essencial é a falta de mercado, reconhecendo igualmente o investimento elevado e o caso de as funcionalidades não serem compatíveis com as necessidades da empresa ou as exigências do mercado.

Quando inquiridos, os donos de obra apontam também o facto de os parceiros não utilizarem esta metodologia e as funcionalidades não estarem ajustadas às necessidades da empresa ou exigências do mercado como as principais razões para se ausentarem de um uso mais frequente do BIM.

3.2. DIMENSÕES BIM E A SUA IMPORTÂNCIA

A metodologia BIM abrange outras dimensões além da modelação tridimensional (3D). Cada dimensão tem o objetivo de fornecer as informações requeridas pelo modelo de informação do edifício [44]. Contudo, não há um número exato de dimensões, devido ao fato de que cada dimensão complementar o modelo com informações diferentes, resultando o termo nD BIM [45]. Apesar da representação das dimensões aparentarem ser de fácil compreensão, a sua análise é bem complexa. Por exemplo, ainda existe alguma dúvida relativamente às dimensões 6D e 7D porque existem autores a defender que a 6D como *Facility Management* (FM) e outros que defendem que a 6D como sustentabilidade e a 7D como FM. Este trabalho defende a sustentabilidade como a 6D e a 7D para o FM, visto que a abordagem de sustentabilidade e de ACV é útil e é complementar à metodologia de *Facility Management*.

Neste subcapítulo, será exequível compreender as informações fornecida por cada dimensão - 3D, 4D, 5D, 6D e 7D.

- BIM 3D

Muito provavelmente esta é a dimensão mais utilizada e conhecida no mundo do BIM, reconhecida como uma representação de três dimensões no espaço. Contudo, os modelos podem alcançar muito mais que a mera representação. O modelo 3D, ao conter informação atualizada, permite melhorar a coordenação e a comunicação durante todo o ciclo de vida, fornecendo vantagens a nível visual para auxílio aos donos de obra. Tal permitirá uma maior compreensão do edifício e apoio os profissionais do setor na extração de dados relativos ao projeto [46].

- BIM 4D

A quarta dimensão de um modelo BIM relaciona o modelo 3D com o fator tempo, originando o modelo 4D, capaz de detalhar um planeamento temporal. Assim, é possível adicionar informações de planeamento adquiridas em ferramentas análogas de gestão de projetos (MSProject) ao modelo 3D e decidir qual é a situação ideal durante o planeamento e a construção durante todo o ciclo de vida do edifício. Permite, desta forma, contabilizar as articulações de atividades, a logística do espaço de trabalho e a alocação viável dos recursos, que inclui a mão-de-obra, o material e o equipamento [47]. Neste sentido, para um projeto de qualquer dimensão ou complexidade, a utilização de um modelo 4D irá ter um impacto positivo na sua gestão e no seu tempo de entrega.

- BIM 5D

A quinta dimensão está associada à estimativa de custos. Através da interligação entre o modelo 4D e os custos obtemos o modelo BIM 5D [7], onde é possível atribuir valores a cada elemento do projeto.

Deste modo, o modelo BIM 5D oferece vantagens relativamente aos métodos tradicionais, atualizando automaticamente e rapidamente os processos de orçamentação e extração automática dos mapas de quantidades, melhorando os detalhes e antecipando os riscos [7].

- BIM 6D

A sexta dimensão está associada à sustentabilidade e à avaliação do ciclo de vida na construção, tornando-se assim na dimensão mais importante para a dissertação. Surge com o objetivo de alcançar melhoramentos nos três pilares da sustentabilidade — Económico, Social e Ambiental — e aplica fortes influências nas restantes dimensões BIM. Não se deve apenas à sua dimensão, mas também às características da sustentabilidade que estão sujeitas a alterações ao longo do tempo [48]. Por isso mesmo, existe a necessidade de uma avaliação sustentável que inclua todas as fases do ciclo de vida na construção, nomeadamente a produção dos materiais, a construção, a operação, a manutenção e a demolição e eliminação [49].

A agregação da sustentabilidade ao modelo BIM permite que os projetistas atendam à análise de ciclo de vida para seleção dos elementos do projeto, permitindo determinar e analisar os impactos ambientais e os Custos de Ciclo de Vida para as todas as fases do edifício. Deste modo, é possível estudar todas as decisões de projeto e comparar as soluções construtivas [7].

- BIM 7D

A sétima dimensão está relacionada à gestão e manutenção do edifício após construção. O modelo 7D acarreta o aumento da informação que visa a manutenção preventiva e a gestão do empreendimento. A informação introduzida engloba datas de instalação dos equipamentos, garantias, contactos dos fornecedores e fabricantes, documentos com a descrição dos ativos e manuais de instalação, funcionalidade dos espaços criados, entre outros — atividades estas que estão a cargo do gestor de edifícios.

A metodologia BIM concebe uma interface consolidada de um banco de dados FM alusivos a todos os aspetos da construção. Nesta dimensão, possibilita-se ultrapassar contratempos outrora difíceis, conseguindo gerir facilmente os ativos do edifício [46].

3.3. METODOLOGIA BIM-ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

3.3.1. ENQUADRAMENTO

Como já mencionado ao longo da dissertação, a União Europeia tem vindo a impulsionar o conceito de ciclo de vida no setor da construção, com a intenção de executar os objetivos sustentáveis propostos, nomeadamente os relativos à energia renovável e à redução de CO₂.

A implementação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida é indubitável para que seja exequível obter resultados sustentáveis na indústria da AECO. Porém, se esta metodologia estiver aliada ao *Building Information Modelling*, é possível de conseguir melhores resultados. Além de poder colaborar com todas as entidades presentes ao longo de todo o ciclo de vida do edificado, a metodologia BIM também pode auxiliar na gestão de informação de todas as fases do ciclo de vida integrada num modelo tridimensional [50] [51].

Por conseguinte, através da interligação dos softwares de análise de ciclo de vida com os programas BIM, torna-se possível realizar uma avaliação completa dos impactos ambientais e dos custos de ciclo de vida do edifício. A metodologia BIM viabiliza também a anexação da informação ambiental dos

produtos e dos custos utilizados no projeto, de forma a realizar uma ACV ou CCV de forma praticamente automática, sem que os projetistas possuam, necessariamente, conhecimentos avançados nesta área.

Contudo, para que exista correlação entre os dois métodos, é fulcral subsistir informação organização e bem estruturada, assim como o cuidado mapeamento de processos de aplicação BIM. Prova dessa carência de normalização são os esforços desenvolvidos a nível europeu, através do CEN/TC442–BIM, e a nível nacional, através da CT197–BIM.

3.3.2. SOLUÇÕES BIM-ACV-CCV

No mercado atual, existem ferramentas que interligam as metodologias BIM e Análise de Ciclo de Vida, mas também artigos que estudaram a interligação de *softwares* de ambas as metodologias. Parte deles com uma grande representatividade e outros de menor dimensão, mas com funcionalidades que os destacam de entre os restantes. Na sequência seguinte, encontramos listada uma amostra desse *software*. Daqui será escolhido o *software* a explorar para o caso de estudo.

1. TALLY

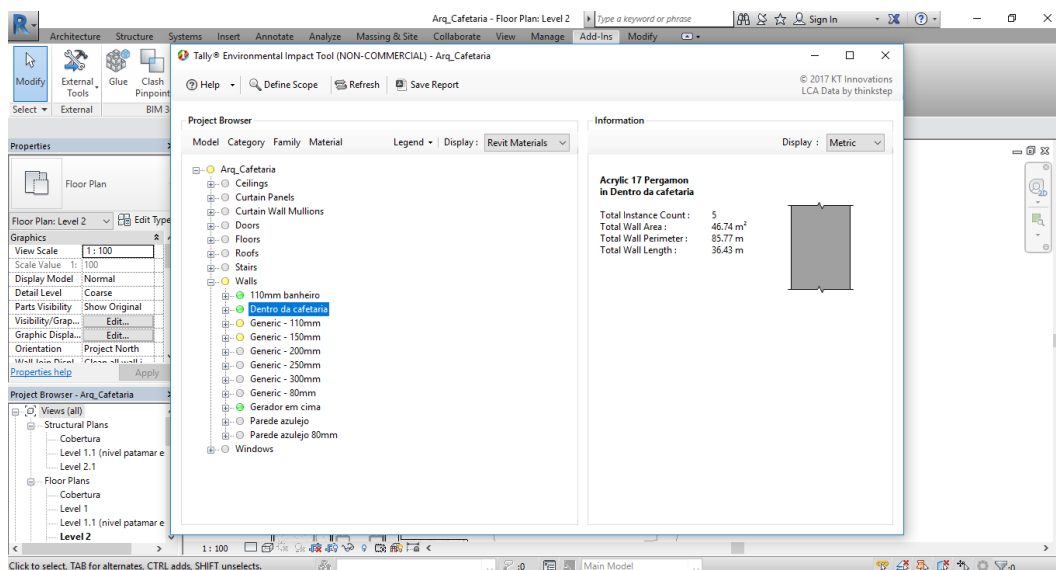


Figura 14 – Pannel do *software* Tally

A aplicação Tally é um *software* desenvolvido nos EUA, pertencente à Autodesk que auxilia a metodologia BIM-ACV.

O seu principal objetivo resulta na quantificação de impactos ambientais de materiais de construção para uma abordagem do berço ao túmulo.

Este é um *plug-in* do Revit, isto é, através de um modelo Revit o utilizador pode definir relações entre elementos BIM e materiais de construção do banco de dados Tally.

Para além de não requerer metodologias especiais de modelação, Tally também permite a realização de comparações de diferentes opções de projeto, possibilita a especificação de massa volúmica de grande parte dos materiais disponíveis na base de dados Tally, inclui algumas Declarações Ambientais de Produto (DAP) na sua base de dados e viabiliza a utilização de um vasto leque de métodos de avaliação ambiental. Entre as vastas vantagens deste software, destacamos a produção de um relatório final com todos os dados e a licença gratuita.

Contudo, é possível apontar algumas desvantagens. Uma delas passa pelo facto de o Tally apenas reconhecer o elemento construtivo do Revit, não fazendo nenhuma ligação automática a materiais genéricos. Apenas permite seleccionar materiais presentes na base de dados do software GaBi e não autoriza a edição dos materiais existentes na base de dados.

2. IMPACT



Figura 15 - Logo IMPACT [52]

O IMPACT permite a interligação entre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Custo de Ciclo de Vida (CCV) e a Modelação de Informação da Construção. Trata-se de uma ferramenta individual, que devido à metodologia IFC, apresenta ligação aos programas BIM (REVIT e ArchiCAD), possibilitando a utilização da metodologia BIM-Análise de Ciclo de Vida desde do berço ao túmulo.

A ferramenta, criada no Reino Unido, contém uma base de dados confiável com dados genéricos e declarações ambientais de produto (DAP) dos produtores. Inclui na sua metodologia o sistema de certificação BREEAM e utiliza treze indicadores ambientais individuais ou *Building Research Establishment (BRE) Ecopoints*.

Porém, é preciso contabilizar os contras do programa. Este não inclui cenários de reciclagem dos materiais, não autoriza a edição de materiais existentes nas bases de dados e apenas permite a seleção dos materiais presentes na base de dados do BRE. Além disso, não possibilita o estudo dos impactos na fase operacional do edifício. Por fim, apesar da sua licença académica não ser gratuita, os utilizadores do *software* IES VE, ainda que tendo de adquirir alguns dados, têm acesso gratuito à ferramenta IMPACT.

3. eveBIM – ELODIE

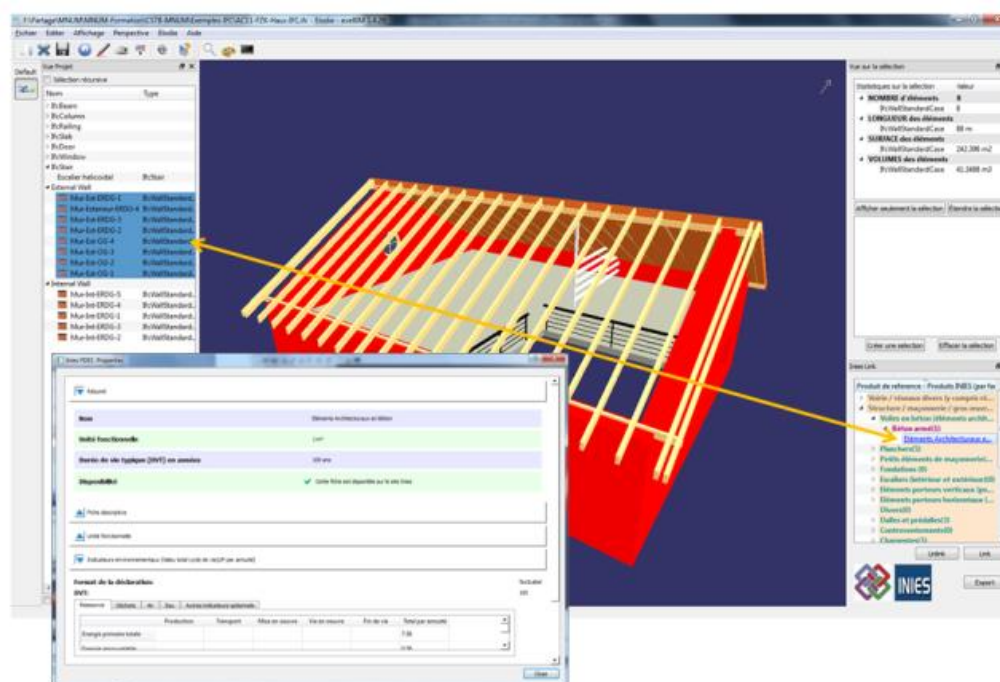


Figura 16 – Painei software eveBIM-ELODIE [53]

O eveBIM-ELODIE foi desenvolvido em França com a finalidade de analisar o ciclo de vida da construção desde do berço ao túmulo.

Este programa apresenta uma base de dados extensa e abrangente para a construção e permite realizar comparações do impacto ambiental de diferentes soluções construtivas no mesmo documento. Todavia, como este é um *software* individual, a importação de informação deste para um programa BIM só é possível devido ao formato IFC.

O software apresenta uma base de dados fiável que contém declarações ambientais de produtos coletivas e individuais. Inclui, ainda, informações relativas à saúde e conforto. Por outro lado, apenas possibilita a seleção de materiais presentes na base de dados INIES, mas sem permissão de edição dos mesmos. Requer bastante informação para efetuar a ACV do edifício – dados específicos do local de construção, materiais utilizados, recursos consumidos na fase de operação, entre outros. Além disso, a avaliação de impactos ambientais apenas é efetuada através de uma norma francesa e a eventualidade da reciclagem de materiais não é contabilizada.

Trata-se de um *software* de avaliação BIM-Análise de Ciclo de Vida de qualidade que apresenta a hipótese de adquirir uma licença académica em inglês. É, contudo, necessário pagar para adquirir a licença e o programa está direcionado para o mercado francês.

4. ARQUIMEDES

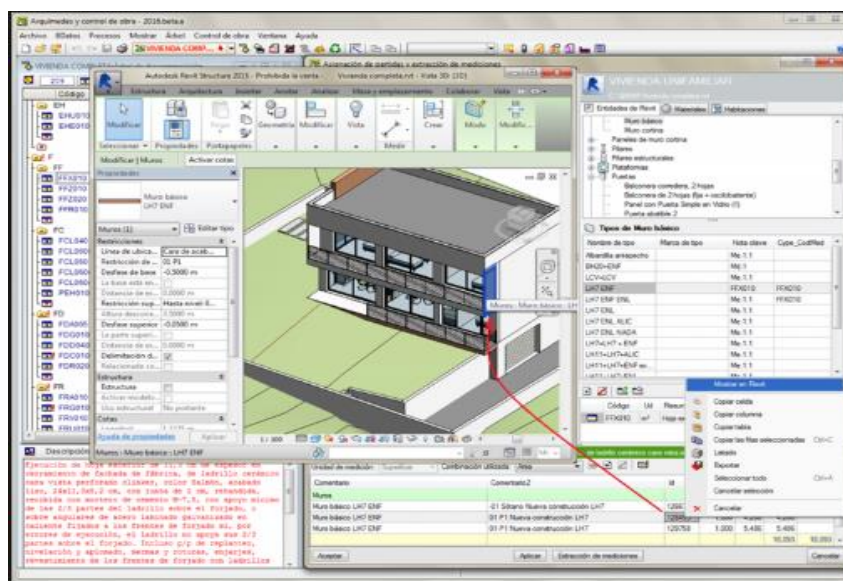


Figura 17 – Painel software Arquimedes [54]

O Arquimedes é uma ferramenta desenvolvida em Portugal e Espanha, com licença académica gratuita e com a aplicação na análise de ciclo de vida de edifícios desde do berço ao portão.

Este é um programa BIM da CYPE que apresenta ligação direta ao REVIT, permite gerar documentos de projeto como o mapa de trabalhos, orçamento, condições técnicas, plano de trabalhos, cronograma financeiro, autos de medição e manual de utilização e manutenção do edifício.

Apresenta uma base de dados de custos de 27 países e permite uma célere execução de estudo de ACV.

Ainda que a sua base de dados seja ampla, não consente a edição de materiais. Apenas contém declarações ambientais de produto espanholas, não permite comparar soluções construtivas diferentes e somente atenta a duas categorias de impactos ambientais – emissão de CO2 e energia incorporada.

5. One Click LCA

One Click LCA + Add

Buy - Help - Bruno -

✓ IMPORTING DATAPPOINTS: 615 ✓ FILTERING DATAPPOINTS: 263 ✓ COMBINING DATAPPOINTS: 19 **MAPPING DATAPPOINTS: 17 + 2** Click

Importing data: Bar Verdes FEUP - LC... - 1 vvv

Data summary Cancel Download Excel Save mappings Continue

Material: Filter: Country: Filter: Data source: Filter: Type: Filter: Upstream DB: Filter: Emission level: Filter: Unit: Filter: Reset

? Unidentified, unquantified or composite materials are not imported, unless you map them to resources. Units will be converted automatically if necessary.

> Model checker: 91 issues For additional instructions go here

> ✓ Identified data: 17 / 91.19 % of volume

> ✗ Unidentified or problematic data: 2 / 8.81 % of volume You only need to map items once. We remember your choices. Delete all < 1 % Delete all < 0.1 %

Imported data					Map data to	
Material	Class	Comment	Quantity	Share	Target resource	Decide later
default wall	EXTERNA...	Default Wall, 90 rows	45 M3	8.64 %	Choose the mapping	? <input type="checkbox"/> Delete
default roof	SLAB	Generic Floor - 300mm Defi	0.91 M3	0.17 %	Choose the mapping	? <input type="checkbox"/> Delete

Figura 18 – Painel software One Click LCA

O ONE CLICK LCA é um *software* de Avaliação de Ciclo de vida (ACV) e de Análise de Custos de Ciclo de Vida (ACCV) que é utilizado por especialistas da construção, consultores de construção sustentável, arquitetos, engenheiros, investidores, fabricantes e projetistas.

O *software* permite o cálculo fácil e rápido de avaliação de ciclo de vida do berço ao túmulo nos edifícios, devido a um processo de automação continuado. Os seus utilizadores podem também importar dados do REVIT, do gbxml ENERGY, Excel ou utilizar a importação dentro do próprio *software*.

Este apresenta um amplo banco de dados de materiais de construção. Porém, caso não existam dados de um determinado país, é possível utilizar dados genéricos. O ONE CLICK LCA, para além de possuir uma licença académica gratuita, é o *software* de análise de ciclo de vida com a classificação BREEAM mais elevada e está em conformidade com mais de vinte sistemas de avaliação ambiental – LEED, HQE, CEEQUAL, DGNB, entre outros. O *software* também se encontra em conformidade com as normas EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929-1, ISO 14040/44 e EN 15804.

3.3.3. SELEÇÃO DE SOFTWARE PARA O CASO DE ESTUDO

Apesar de todos os *softwares* necessitarem de dados para alimentar o seu funcionamento, alguns são capazes de fornecer uma análise mais abrangente de toda a Análise do Ciclo de Vida. Neste subcapítulo é concretizada uma análise para seleção do *software* para efetuar a interligação entre o modelo BIM-ACV-CCV.

A seleção é regida por critérios fundamentais que o programa tem que obedecer – realizar avaliação de ciclo de vida (avaliação dos impactos ambientais); análise do Custo de Ciclo de Vida dos elementos construtivos; realização de uma análise de ciclo de vida do berço ao túmulo; obtenção de licença académica gratuita. Tendo em conta os regras elucidadas, analisou-se as soluções enunciadas para verificar se estas cumpriam ou não os critérios (tabela 2).

Tabela 2 - Análise das ferramentas segundo os critérios selecionados

<u>Soluções BIM-ACV</u>	<u>Avaliação de ciclo de vida – impactes ambientais</u>	<u>Análise de custos de ciclo de vida</u>	<u>Fases de ciclo de vida - Berço ao Túmulo</u>	<u>Licença académica gratuita</u>
1. TALLY	SIM	NÃO	SIM	SIM
2. IMPACT	SIM	SIM	SIM	NÃO
3. eveBim-elodie	SIM	SIM	SIM	NÃO
4. ARQUIMEDES	SIM	SIM	NÃO	SIM
5. ONE CLICK LCA	SIM	SIM	SIM	SIM

Porém, nem todos os critérios apresentam o mesmo nível de importância. Por isso, foram atribuídos pesos percentis a cada critério consoante a sua relevância. A existência de uma licença académica gratuita é fundamental para a aquisição do programa, porque sem esta a exploração torna-se impossibilitada. Desta forma, é a este atribuído um peso de 40%.

A análise dos elementos na construção tem que ter em atenção todas as fases do ciclo de vida, portanto a realização de uma análise do berço ao túmulo é deveras relevante neste caso em questão. Logo, este critério tem um peso correspondente de 30%.

Relativamente aos dois critérios sobrantes, a Avaliação de Ciclo de Vida e a análise de Custo de Ciclo de Vida são igualmente importantes, sendo-lhes atribuídos um peso de 15% a cada.

Com o objetivo de alcançar resultados finais sob forma de percentagem, visando uma conclusão mais concisa e direta, foram atribuídos valores às respostas da tabela 2 – “NÃO – 0” e “SIM – 1”. Consequentemente, ao realizar um somatório das multiplicações dos números atribuídos pelos pesos de cada critério, obtêm-se resultados finais percentis de cada solução BIM-ACV-CCV (tabela 3).

Tabela 3 - Seleção do software

<u>Soluções BIM-ACV</u>	<u>Avaliação de ciclo de vida – impactes ambientais</u>	<u>Análise de custos de ciclo de vida</u>	<u>Fases de ciclo de vida - Berço ao Tumulo</u>	<u>Licença académica gratuita</u>	<u>Resultados</u>
	15%	15%	30%	40%	
1. TALLY	1	0	1	1	85%
2. IMPACT	1	1	1	0	60%
3. eveBim-elodie	1	1	1	0	60%
4. ARQUIMEDES	1	1	0	1	70%
5. ONE CLICK LCA	1	1	1	1	100%

Conclui-se, assim, através da análise do quadro 5, que o *software* One Click LCA é o que cumpre todos os requisitos considerados fundamentais, adquirindo um resultado final de 100%. Por sua vez, o Tally surge logo a seguir com uma percentagem ligeiramente mais baixa, pois este não efetua uma análise de custos de ciclo de vida.

Desta forma, o software a utilizar para realizar a interligação entre o BIM-ACV-CCV será o One Click LCA.

4

MÉTODO PROPOSTO

4.1. ENQUADRAMENTO

O presente capítulo destina-se à descrição do método de trabalho proposto para a integração dos três conceitos discutidos ao longo desta dissertação: BIM-ACV-CCV. Este método apresenta-se dividido nas seguintes etapas principais: recolha de informação do empreendimento, modelação do mesmo recorrendo a um programa BIM onde todas as suas propriedades são devidamente introduzidas, sincronização do modelo BIM criado com o software ONE CLICK LCA, realizar a Avaliação de Ciclo de Vida do edifício, realizar uma análise de custos de ciclo de vida, e, finalmente, através de uma análise multicritério analisar qual é que é a solução mais apropriada a utilizar. Deste modo, com a análise terminada, o utilizador irá ter segundo os seus critérios a solução ideal para aplicar no seu edifício.

Este método de proposto pretende obter um modelo 6D BIM criado com o propósito melhorar a sustentabilidade do edifício ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. De seguida, será exposta a conduta a utilizar para obter o modelo pretendido.

A necessidade de construção de uma metodologia advém do papel capital que os elementos construtivos desempenham no setor da construção desde a conceção à demolição. Ainda que as soluções construtivas empregues na obra possam ser pouco relevantes para o dono de obra — importando somente um resultado final que responda na perfeição às suas expectativas, relativamente aos custos e ao tempo de entrega — já podemos, atualmente, perceber uma maior consciência ambiental da parte destes intervenientes.

4.2. MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO

Para aplicação da metodologia BIM-ACV-CCV, em primeiro lugar é necessário realizar a modelação do edifício. Para tal, é considerado como princípio a utilização do *software* Revit 2017, fornecido pela Autodesk. O Revit é um programa de modelação 3D que permite trabalhar e integrar especializações diferentes — arquitetura, construções, estruturas, instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas.

Geralmente, a modelação 3D é realizada através da análise de plantas e cortes em DWG dos edifícios a estudar. Um processo que pode ser dividido num conjunto de passos gerais:

- Criar um novo *template* consoante a especialização;
- Consoante o estudo dos cortes e plantas, identifica-se o número de pisos do edifício, criando níveis referentes a cada planta com a altura assinalada nos cortes;
- Após a criação dos níveis, importa-se os ficheiros DWG para o seu respetivo nível. Este passo é efetuado através da utilização do comando *Import CAD* presente no menu *Insert*, auxiliando a respetiva modelação. Todavia, é necessário obter um ponto de referência para que as plantas fiquem alinhadas.
- Quando não há ficheiros DWG, há outro método que pode facilitar a modelação do edifício. Através da utilização de um laser *scanning* é possível captar uma nuvem de pontos. Assim, é possível efetuar a respetiva modelação sob a nuvem de pontos captada;
- Por fim, dá-se início à modelação propriamente dita, recorrendo a elementos arquitetónicos de diferentes categorias presentes no menu *Architecture*: paredes, coberturas, pisos, colunas, escadas, entre outros.

A utilização do Revit não se deve apenas à possibilidade de obter uma modelação 3D, mas também por ser possível realizar uma modelação paramétrica do edifício. Este tipo de modelação é fundamental e só é possível porque os objetos no Revit se encontram sob forma de hierarquia – categorias: portas, janelas, paredes, entre outras. Por sua vez, as categorias dividem-se em famílias — paredes simples, paredes duplas, entre outras — e cada família apresenta vários tipos onde se pode pormenorizar as dimensões de cada parede: parede simples de 100mm e outra de 300mm.

4.3. INTEGRAÇÃO REVIT-ONE CLICK LCA

A ligação entre o Revit e o One Click LCA pode ser efetuada através de um *add-in* disponibilizado pela Autodesk, denominado *plug-in ONE CLICK LCA* para AUTODESK.

Esta funcionalidade só é possível devido ao desenvolvimento do modelo IFC (*Industry Foundation Classes*), que representa um formato padrão da interoperabilidade de dados. O padrão IFC, normalizado segundo ISO 16739, permite que existe troca de dados dentro da metodologia BIM e que seja feita uma partilha de informação relativa ao projeto, de forma segura, entre os diversos intervenientes. Este processo faz com que exista uma conversão dos dados para que fiquem legíveis ao modelo receptor, possibilitando a integração entre diferentes *softwares* [55].

4.3.1. ONE CLICK LCA PARA AUTODESK

O *plug-in ONE CLICK LCA* para Autodesk encontra-se disponível para instalação na página de *internet* Autodesk, onde ao selecionar o ficheiro para *download* é necessário ter em atenção a versão do Revit com que se está a trabalhar e verificar se o *software* é compatível com a versão que se está a utilizar.

Após a instalação desta extensão, pode-se observar na aba *Add-Ins* o seguinte menu adicionado, figura 19. Este é essencial, pois importa os dados do modelo Revit através de um formato IFC subentendido para o *software ONE CLICK LCA*, auxiliando o caso de estudo em questão.



Figura 19 - Menu adicionado ao Revit na aba Add-Ins.

4.3.2. SELEÇÃO DO PROJETO NO ONE CLICK LCA

Após a finalização do modelo, seleciona-se o *add-in* do One Click LCA do Revit, abrindo uma página WEB pertencente ao *software*. Procede-se, de seguida, à criação do projeto a analisar. Para tal, seleciona-se o botão *Add* e a categoria *building* (figura 20), abrindo uma página de identificação do projeto em estudo, onde se colocam os seus dados identitários: o nome do edifício, a morada, o país, a área bruta, o tipo de edifício e uma imagem do mesmo. Tendo todas as informações devidamente introduzidas, guarda-se toda a informação, recorrendo ao botão *save*.

 The screenshot shows the 'One Click LCA' web application interface. At the top, there's a navigation bar with the 'One Click LCA' logo, an '+ Add' button, and user options like 'Buy', 'Help', and 'Bruno'. Below the navigation bar, a large green button labeled 'IMPOR' is visible. A dropdown menu is open from the '+ Add' button, showing options: 'Building', 'Product', 'Organization', 'Portfolio', and 'Infrastructure project'. A tooltip for 'Building' is displayed, explaining its use for design and performance tracking. The main area is titled 'Choose target' and contains four input fields: 'Choose the project or entity' (with a dropdown showing 'Bar Verdes FEUP'), 'Choose or create a design' (with a dropdown showing 'New design'), 'Choose the indicator' (with a dropdown showing 'Life-cycle assessment, EN-159'), and 'Import mode' (with a checkbox for 'Fast & silent'). A green 'GO!' button is at the bottom right of the form, and a '+ More settings' button is below it.

Figura 20 - Criação do projeto proposto na base de dados do One Click LCA

Após o projeto estar devidamente criado e guardado, é necessário voltar ao Revit e selecionar novamente o *add-in* do One Click LCA, onde, através da funcionalidade do IFC, se realiza a interligação de todas as informações do modelo construtivo com o projeto selecionado no *software* do One click LCA (figura 21).

 The screenshot shows the 'One Click LCA' web application interface for project selection. The top navigation bar is the same as in Figure 20. Below it, a progress bar shows four steps: 'IMPORTING' (highlighted in green), 'FILTERING', 'COMBINING', and 'MAPPING'. The main heading is 'One Click LCA - from BIM or a data file'. Below this, a 'Choose target' section contains the same four input fields as Figure 20. The 'Choose the project or entity' dropdown is now open, showing a list of projects: 'BAR VERDES FEUP - LCC', 'BAR VERDES FEUP - LCA' (highlighted in yellow), and 'BAR VERDES FEUP - LCC'. A green 'GO!' button and a '+ More settings' button are also present.

Figura 21 -Interligação das informações do modelo Revit com o software de análise de ciclo de vida

O One Click LCA oferece uma grande variedade de indicadores que se podem utilizar consoante a análise que quisermos utilizar, como podemos comprovar na figura 22. Todavia, só é permitido analisar um indicador de cada vez, portanto, é fundamental selecionar o correto no parâmetro ‘Choose the indicator’ — presente na figura antes de avançar para o passo seguinte.

- ☐ BREEAM Mat 01 Green Guide **Unsupported** BREEAM Mat 01 Green Guide
- ☐ BREEAM Mat 05 Durability BREEAM Mat 05 Designing for durability and resilience
- ☐ BREEAM Mat 03 sourcing BREEAM Mat 03 Responsible Sourcing for BREEAM International RFO 2015 and NC 2016 as well as BREEAM U... [See all](#)
- ☐ Building life-cycle carbon footprint, EN-15978 - GBC Finland Building life-cycle carbon footprint according to the European Standard EN 15978 with scenarios defi... [See all](#)
- ☐ LCA for building elements (BREEAM SE/NOR) Building element life-cycle assessment, EN 15978. This LCA complies with BREEAM SE: Mat 1 - Material... [See all](#)
- ☐ Life-cycle assessment, EN-15978 Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978. This LCA software covers... [See all](#)
- ☐ Carbon footprint, NS 3720 Building life-cycle assessment according to the Norwegian standard NS 3720 Metode for klimagassbereg... [See all](#)
- ☐ LCA for LEED (CML) For LEED 2009 and v4; CML version. The whole-building LCA option takes into account a wide range of ... [See all](#)
- ☐ LCA for LEED, Int'l (CML) For LEED 2009 and v4; CML version. The whole-building LCA option takes into account a wide range of ... [See all](#)
- ☐ Life-cycle cost, ISO 15686-5 & EN 16627 - outdated Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5 and EN 16627.
- ☐ Life-cycle cost, ISO 15686-5 & EN 16627 (materials-linked) - outdated Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5 and EN 16627.
- ☐ Life-cycle cost, PD 156865:2008 - outdated Life-cycle cost for a fixed asset based on Standardised method of life cycle costing for constructio... [See all](#)
- ☐ Life-cycle cost, ISO 15686-5 - outdated Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5.
- ☐ Life-cycle cost (BREEAM NL MAN 12) Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5 and EN 16627 linked to LCA inputs.
- ☐ Life-cycle cost (ISO 15686-5) - TRACI Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5 linked to LCA inputs.
- ☐ Life-cycle cost (PD 156865:2008) Life-cycle cost for a fixed asset based on Standardised method of life cycle costing for constructio... [See all](#)
- ☐ LEED MRc2 Environmental Product Declarations & MRc3 Sourcing of Raw Materials (CML) LEED v4 tool for MRc2: Building product disclosure and optimization - Environmental Product Declarat... [See all](#)
- ☐ LEED MRc2 Environmental Product Declarations & MRc3 Sourcing of Raw Materials (TRACI) LEED v4 tool for MRc2: Building product disclosure and optimization - Environmental Product Declarat... [See all](#)
- ☐ Life-cycle assessment, EN-15978 (complete) Building life-cycle assessment according to the European Standard EN 15978.
- ☐ Adaptation to climate change tool for BREEAM Tool for BREEAM Wst 05 Adaptation to Climate Change.
- ☐ Component LCA For BREEAM UK NC 2018, BREEAM NOR and BREEAM Sweden building element/design option analyses for Mat ... [See all](#)
- ☐ Component LCC Life-cycle cost for a fixed asset based on ISO 15686-5 and EN 16627 linked to LCA inputs.
- ☐ Construction site impacts Construction site impacts tracked as per BREEAM and HQE requirements.
- ☐ Early phase carbon footprint This is a simplified carbon footprint for a site selection decision, which considers the transport i... [See all](#)
- ☐ Bâtiment Bas Carbone - Construction raisonnée Bâtiment Bas Carbone - indicateur Construction raisonnée
- ☐ LCA for BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Life-cycle assessment in compliance with BNB requirements... [See all](#)
- ☐ LCA for BREEAM Int'l/ES/NOR/SE This is officially approved LCA in compliance with BREEAM International NC 2013 and 2016 as well as ... [See all](#)
- ☐ LCA for BREEAM UK This is an official BRE-approved LCA in compliance with ALL BREEAM UK versions, including BREEAM UK ... [See all](#)
- ☐ LCA, Milieuprestatie Gebouwen BREEAM NL & Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken 2.0. One Click LCA maakt gebruik... [See all](#)
- ☐ LCA for DGNB (DE) ENV1.1. and ENV2.1. Life-cycle assessment in compliance with DGNB's German edition 2012-2015 require... [See all](#)
- ☐ LCA for DGNB (DK) ENV1.1. and ENV2.1. Life-cycle assessment in compliance with DGNB-DK's requirements. This LCA softwa... [See all](#)
- ☐ LCA for DGNB (Int'l) ENV1.1. and ENV2.1. Life-cycle assessment in compliance with DGNB International's requirements. This... [See all](#)
- ☐ Free tool for Embodied Energy This is free embodied energy tool to get you started in life-cycle thinking the easy way.
- ☐ Energie carbone - détaillée Référentiel Energie-Carbone pour les bâtiments neufs. Méthode d'évaluation de la performance énergét... [See all](#)
- ☐ Energie carbone - simplifiée Référentiel Energie-Carbone pour les bâtiments neufs. Méthode d'évaluation de la performance énergét... [See all](#)
- ☐ LCA for Graue Energie (BETA) SIA Merkblatt 2032 complying with Standard Nachhaltigen Bauen Schweiz, MINERGIE-A, MINERGIE-ECO, MIN... [See all](#)
- ☐ LCA compliant with U.S. codes and sustainable building standards LCA compliant with Green Globes for New Construction – Section 3.5.1.1 Path A, Executive Order 13514... [See all](#)
- ☐ LCA for HQE Building life-cycle assessment in compliance with HQE (French and International versions). This soft... [See all](#)
- ☐ LCA for BREEAM UK IMPACT-compliant - outdated This is an IMPACT-compliant LCA application, intended for use for with BREEAM UK New Construction 20... [See all](#)
- ☐ LCA for BREEAM UK IMPACT-compliant This is an IMPACT-compliant LCA application according to IMPACT v5, intended for use for with BREEAM... [See all](#)
- ☐ LCA for BREEAM UK IMPACT-equivalent - unsupported This is an IMPACT-equivalent LCA application, intended for use for with BREEAM UK New Construction 2... [See all](#)
- ☐ LCA for LEED, US (TRACI) For LEED 2009 (v3) and v4; TRACI version. The whole-building LCA option takes into account a wide ra... [See all](#)
- ☐ LCA for LEED, Canada (TRACI) For LEED 2009 (v3) and v4; TRACI version. The whole-building LCA option takes into account a wide ra... [See all](#)
- ☐ Bill of materials and data quality Bill of materials and data quality for Level(s) - macro-objective 2: Resource efficient and circular... [See all](#)
- ☐ Level(s) life-cycle carbon Carbon footprinting for Level(s) - macro-objective 1: Greenhouse gas emissions along a buildings lif... [See all](#)
- ☐ Level(s) life-cycle assessment Life-cycle assessment for Level(s) - overarching assessment tool 7: Cradle to cradle Life Cycle Asse... [See all](#)
- ☐ LCA for Miljöbyggnad LCA for Miljöbyggnad 3 and Net Zero certification. Required scope is structure (stomme) for Bronze a... [See all](#)
- ☐ LCA trial tool (CML) LCA application for trialing LCA use for European clients.
- ☐ LCA trial tool (TRACI) LCA application for trialing LCA use for North American clients.
- ☐ Embodied impacts of materials Embodied impacts of the construction materials. For example for VERDE NE - Residencial y Oficinas, 2... [See all](#)
- ☐ Material efficiency Material efficiency and circular economy - for BREEAM MAT 06 and GRI G4 reporting as well as other p... [See all](#)
- ☐ Level(s) energy & water Level(s) operating metrics for macro-objectives 1 Greenhouse gas emissions along a buildings life cy... [See all](#)

Figura 22 - Indicadores disponíveis no software One Click LCA

4.3.3. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Um dos indicadores disponíveis no *software* e que é de extrema importância para o método proposto é o de Avaliação do Ciclo de Vida – *Life Cycle Assessment*.

A sua aplicação e estudo permite identificar os impactos ambientais associados ao edifício durante todo o ciclo de vida. No entanto, para que seja possível obter resultados, é necessário efetuar uma série de passos indispensáveis.

1. Seleção do projeto no One Click LCA como efetuado no subcapítulo anterior

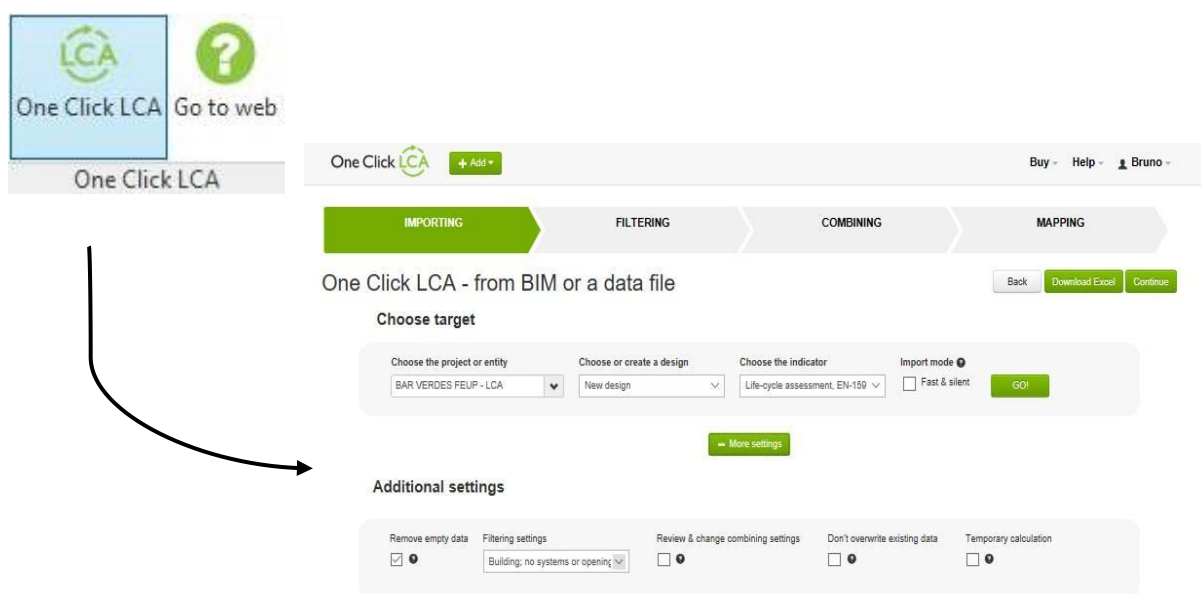


Figura 23 - Seleção do projeto na software de análise de ciclo de vida

Já tendo o projeto criado na base de dados do One Click LCA conforme o ponto (4.3.2), é necessário interligar as informações do modelo desenvolvido com o *software* já citado. Para tal, como é possível verificar na figura anterior, apenas é necessário selecionar o projeto a trabalhar e o indicador a estudar, que neste caso é o relativo à Avaliação de Ciclo de Vida, antes de avançar para a etapa seguinte.

2. Criação do design

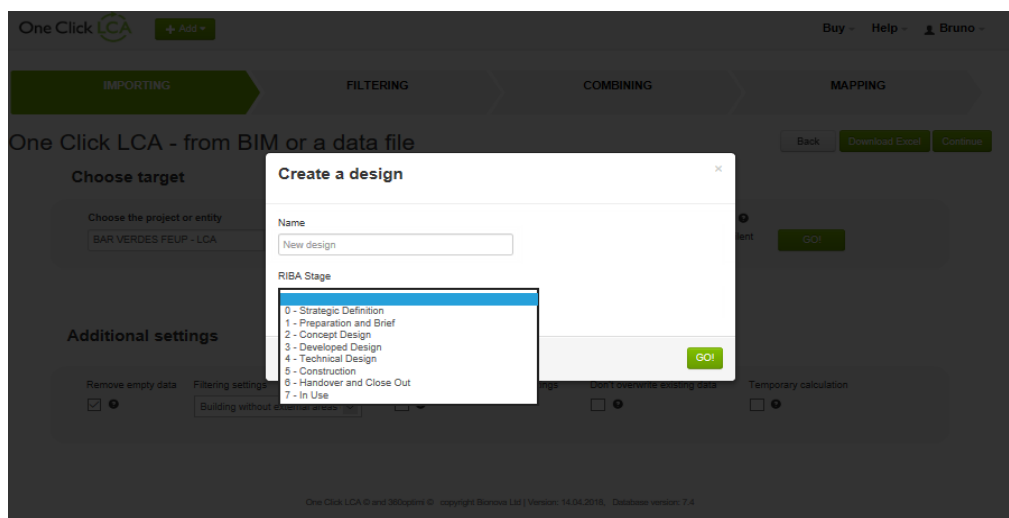


Figura 24 - Criação de design

Esta etapa tem o objetivo de nomear o projeto a trabalhar e qual a fase de estudo a que se aplica. Surge como uma espécie de identificação do caso de estudo. Apesar de no início se ter introduzido todas as informações sobre o projeto, é possível realizar vários casos de estudo sobre o projeto criado inicialmente. Por exemplo, numa primeira fase, foi criado um projeto que tinha como objetivo estudar a Avaliação de Ciclo de Vida dos materiais já existentes, mas decidiu-se alterar alguns materiais – este já seria um novo caso de estudo dentro do mesmo projeto. Neste sentido, este passo tem o intuito de tornar a análise mais clara e organizada, requerendo apenas o nome do projeto a conceber e qual é a fase em que se encontra (RIBA STAGE): 0 – Definição estratégica; 1 – Preparação; 2 – Conceção do projeto; 3 – Desenvolvimento do projeto; 4 – Projeto técnico; 5 – Construção; 6 – Em entrega; 7 – Em utilização.

3. Input dos materiais segundo o que está indicado no modelo do Revit

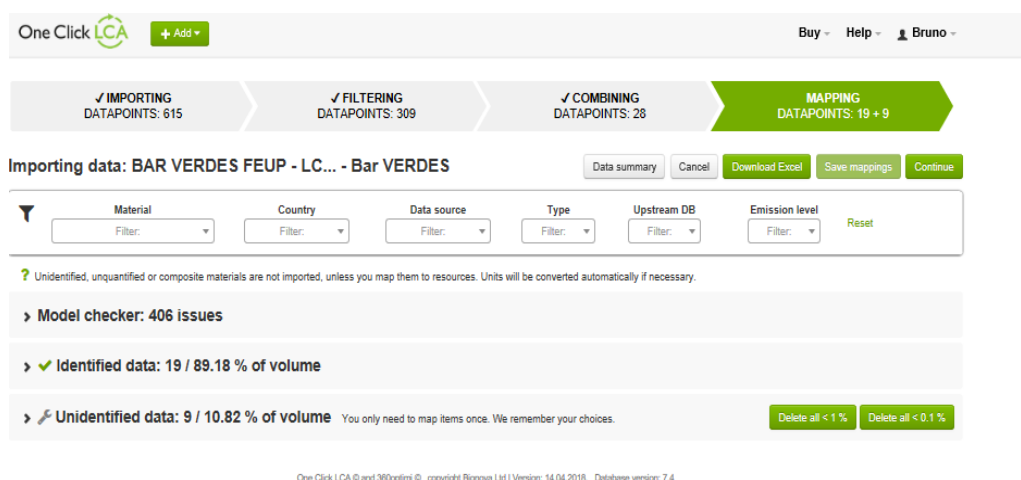


Figura 25 - Input dos materiais no One Click LCA

Após a identificação do projeto, o *software* One Click LCA irá correr e analisar todas as informações dos materiais presentes no modelo BIM. Consoante a sua vasta base de dados de materiais para a construção, vai automaticamente identificar todos os materiais dos elementos construtivos. Contudo, por vezes não é possível relacionar todos os materiais e, neste caso, o *software* lança um alerta ao utilizador sobre os materiais encontrados (*identified data*) e os que não conseguiu identificar (*undentified data*).

A relação entre todos os elementos com o seu respetivo material é fundamental para uma boa análise. Porém, a identificação manual do material que não foi reconhecido não é linear. Neste processo, é possível identificar uma lacuna do One Click LCA, que acontece quando selecionamos o material no projeto e este deveria ficar simultaneamente selecionado no programa de modelação. É, contudo, necessário identificar o material no modelo e, sobre a lógica do bem senso, atribuir a solução indicada, segundo a base de dados oferecida.

Ainda assim, nem todos os materiais não reconhecidos precisam de ser identificados. Dependendo do nível de precisão que se pretende atingir com o estudo, é possível eliminar as componentes que apresentem um volume de 1 %.

4. Complemento de informação do projeto

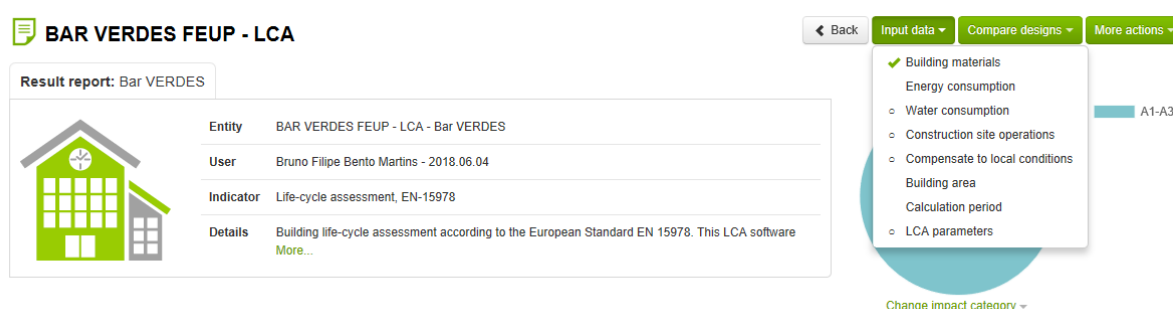


Figura 26 - Introdução de outras informações ACV no projeto

Subsistem díspares informações suplementares que têm como objetivo o desenvolvimento do conteúdo do projeto e, simultaneamente, melhorar o rigor do caso de estudo. Todas estas podem ser introduzidas recorrendo ao botão *input data* e selecionando o parâmetro pretendido.

- **Buildings materials**

No passo 3 já se efetuou o *input* dos materiais no projeto. Todavia, é por vezes necessário mudar algum aspeto do material que já fora selecionado.

Deste modo, neste parâmetro, é possível alterar qualquer material, assim como a quantidade, as unidades, o custo unitário e o tempo em serviço de cada um dos elementos na construção.

- **Energy consumption**

O consumo de energia é um parâmetro de significativa influência para o ciclo de vida, nomeadamente, no que diz respeito aos Custos de Ciclo de Vida. Deste modo, e sobre o objetivo de atingir um resultado completo, existem vários campos que necessitam de preenchimento: o consumo de eletricidade

(obrigatório); a utilização de combustíveis; o consumo de aquecimento urbano; a utilização de refrigeração distrital; e, por fim, a energia exportada.

- ***Water consumption***

A contabilização do consumo de água do edifício é um fator que não pode ser descurado durante a análise do ciclo de vida. Neste ponto, é possível estimar o número de litros de água utilizada, através da introdução manual da água gasta pela torneira (água potável) e a água do saneamento.

- ***Construction site operations***

Existem vários impactos ambientais associados ao estaleiro de obra que prejudicam a sustentabilidade ambiental. Através da introdução no sistema do *software* de informação relativa à zona do edifício, à utilização de água e energia do estaleiro, à gestão dos resíduos do estaleiro e às viagens adicionais para o estaleiro, torna-se possível a obtenção de uma análise mais rigorosa destes impactos durante todas as etapas do empreendimento.

- ***Compensate to local conditions***

Um dos fatores que influenciam a sustentabilidade na construção é a exportação de materiais. Para além de aumentar o CO₂ emitido para a atmosfera devido ao longo transporte dos materiais até ao estaleiro de obra, prejudica também a economia local. Este parâmetro tem, assim, em vista os materiais locais e requer a seleção do país de origem do projeto.

- ***Building area***

Este campo solicita a área bruta de construção.

- ***Calculation period***

Através do comando *Calculation Period* define-se o período de vida útil do edifício.

- ***LCA parameters***

O preenchimento deste *input* visa a definição de parâmetros a que o projeto está exposto. Este requer informações como o tipo de projeto (construção nova, renovação de um edifício existente, expansão de um edifício existente, projeto de *design* de interiores ou apenas para avaliação de componentes). Além disso, caso a construção não for nova, exige que se identifique a sua estrutura tipo, bem como a certificação ambiental que se quer aplicar no projeto (Breeam, leed, liderA, entre outras).

5. Exportação de resultados

Life-cycle assessment results

Sector	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1-A3 Construction Materials						Hide empty
A4 Transportation to site						Hide empty
A5 Construction/installation process						Hide empty
B1-B5 Maintenance and material replacement						Hide empty
B6 Energy use						Hide empty
B7 Water use						Hide empty
C1-C4 Deconstruction						Hide empty
D External impacts (not included in totals)						Hide empty
Total						
	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph	Show graph

Figura 27 - Exportação dos resultados ACV

O procedimento enunciado anteriormente culminaria, numa lógica académica, neste levantamento e análise dos resultados.

Os dados aparecem através de forma de tabela (figura 27) e são acompanhados por vários gráficos complementares. Os impactos ambientais resultantes da avaliação de ciclo de vida estão distribuídos pelas diferentes fases do mesmo ciclo. As fases entre A0 e A3 são referentes aos materiais de construção, a A4 ao transporte dos materiais até ao estaleiro e a A5 ao processo de construção. Já as fases entre B1 e B5 são referentes à manutenção e reparação dos materiais. A B6 diz respeito à energia utilizada e a B7 à água utilizada nos edifícios. Por último, as fases entre C1 e C4 representam a desconstrução dos materiais [56].

Compreende-se, daqui, que nem sempre se procede a uma análise global de todos os materiais, mas sim a uma análise específica de um só material. Desse modo, dependendo da fase específica que se pretende analisar, do lado direito existe um comando designado *detail*, que, quando clicado, fornece ao utilizar uma tabela mais detalhada com informação detalhada sobre os impactos gerados por cada material.

4.3.4. CUSTOS DE CICLO DE VIDA

Assim como se aplica a Avaliação de Ciclo de Vida com o intuito de melhorar a sustentabilidade na construção, também é relevante que se recorra à análise dos Custos de Ciclo de Vida. Recorrendo ao indicador ‘*Life-Cycle Cost*’ presente no One Click LCA, é possível determinar o custo dos materiais durante todo o ciclo de vida.

Os processos para determinar os CCV através do One click LCA apresentam algumas semelhanças ao que já foi redigido no subcapítulo anterior. Os três primeiros passos – “1. Seleção do projeto no One Click, LCA”; “2. Criar design”; “3. *Input* dos materiais a utilizar” — efetuam-se da mesma forma enunciada na ACV. Mas existe um pequeno pormenor a ter em conta no primeiro passo, que aqui exige a seleção do indicador “*Life-Cycle Cost*” em vez do “*Life Cycle Assessment*”.

Também o complemento de informação do projeto — passo 4 — do Custo de Ciclo de Vida apresenta algumas peculiaridades. Apesar de existirem parâmetros semelhantes tanto na ACV como no CCV — “*Building Materials*”; “*Energy consumption*”; “*Water consumption*”; “*Calculation Period*” — destacamos outros dois que estão somente ligados à análise do Custo de Ciclo de Vida:

- **LCC parameters**

Este campo tem como objetivo o apoio à regularização dos CCV. Neste ponto, é necessário partilhar informações como o país onde o projeto é desenvolvido, a moeda utilizada no país, a taxa de mão de obra geralmente empregue, o fator de desconto do custo de capital e a inflação.

- **Other capital cost e Other operating cost**

Ambos os parâmetros visam melhorar a viabilidade dos projetos. Quando se tem a certeza ou uma estimativa muito segura de valores relativos a outros custos importantes relativos ao ciclo de vida, pode-se recorrer a estes dois critérios para completar o projeto.

Através dos outros custos de capital, conseguimos contabilizar os custos de construção, a compra de terra, as taxas de infraestruturas municipais, as licenças, o planeamento e projetos, bem como os estudos geotécnicos. Por outro lado, a partir do parâmetro dos custos operacionais, existe a possibilidade de considerar os custos administrativos, *Facility Management*, os seguros, o imposto sobre a propriedade, as externalidades, a gestão de resíduos e os serviços de segurança.

Assim como na ACV, no CCV os resultados são exportados no formato de tabela (figura 28). Esta assemelha-se à tabela de resultados da avaliação de ciclo de vida. Contudo, ao invés de analisar os impactos ambientais dos elementos, analisa os custos (LCC – *discounted* e o LCC – *undiscounted*). Tal como na outra tabela de resultados, os custos são distribuídos e analisados por todas as fases de ciclo de vida.

Life-cycle cost as per ISO 15686-5 and EN 16627

Sector	Life-cycle cost, discounted	LCC, nominal (undiscounted, includes inflation)
A0-A5 Construction	0	0 Details
B4-B5 Replacement/refurbishment		Hide empty
B6 Operational energy use		Hide empty
B7 Operational water use		Hide empty
C1-C4 End of life	0	0 Details
Total	0	0
	Show graph	Show graph

Figura 28 – Exportação de resultados CCV

4.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A metodologia de análise multicritério surge na década de 60, enquanto instrumento de apoio à decisão. Geralmente, é utilizada na análise comparativa de projetos ou medidas heterogéneas.

Esta pode ser estruturada com o intuito da produção de uma conclusão sintética simples no final da avaliação ou, pelo contrário, com vista a produzir conclusões adaptadas às preferências e prioridades. O principal objetivo desta metodologia passa por estruturar e combinar diferentes análises a ter em conta no processo de tomada de decisão, sendo que esta se baseia em processos de escolhas múltiplas e o tratamento dado a cada uma das escolhas condiciona, em grande medida, a decisão final. Este método é

usualmente utilizado para a síntese de opiniões, determinação de expressões, análise de situações de conflito, formulação de recomendações ou proporções de orientações de natureza operacional [57].

Neste caso, a análise multicritério vai servir de apoio à decisão ao caso de estudo. Fundamentalmente, irá existir dois critérios – Avaliação de Ciclo de Vida e o Custo de Ciclo de Vida. Como já foi referido, o primeiro faz um diagnóstico dos impactos ambientais e o segundo, o custo global durante todo o ciclo de vida dos materiais. Ambos os critérios são importantíssimos para o crescimento da sustentabilidade na construção, mas não há uma forma exata de atribuir os respetivos pesos aos critérios em análise. Assim, a atribuição das ponderações fica ao encargo de cada utilizador, segundo a finalidade do seu estudo em questão. Em título de exemplo, um utilizador que considere ambos os critérios significativos, pode atribuir 50% a cada um. Outro que perspetive a sustentabilidade como um fator mais importante do que qualquer outro parâmetro, pode atribuir 75% à Avaliação de Ciclo de Vida e 25% ao Custo de Ciclo de Vida. Por outro lado, um utilizador que considere o custo o fator principal na escolha final, pode atribuir 75% ao custo de ciclo de vida e 25% à avaliação de impactos ambientais.

Ao analisar o subtópico (4.3.3), no que diz respeito à exportação e análise de resultados da Avaliação de Ciclo de Vida dos materiais, denotamos que este analisa seis fatores ambientais distintos (*global warming, acidification, eutrophication, ozone depletion, formation ozone of lower atmosphere, primary energy*). Portanto, consoante a ponderação dada à ACV, esta tem que ser repartida de forma igual por todos os subcritérios. Por exemplo, se a ponderação da ACV for de 60%, as ponderações de cada subcritério terão que ser de 10%.

Os critérios apresentam unidades totalmente diferentes, o que origina um problema na aplicação da análise multicritério. Portanto, para ultrapassar este contratempo, é necessário recorrer à utilização de uma escala de percentagens para conversão de resultados, ou seja, a cada resultado será dada uma percentagem lógica que varie entre [0% - 100%].

Quando nos referimos a qualquer custo, valor a desembolsar, quanto mais baixo melhor. Por isso é que se atribui 100% ao custo mais reduzido e 0% ao mais elevado. Para obter os restantes, é necessário recorrer à definição da reta para encontrar os demais critérios, através de uma extrapolação. Por outro lado, relativamente aos impactos, quanto mais pequenos melhores. Assim, atribui-se 100% aos mais baixo e 0% ao mais alto. Contudo, ao aplicar este método diretamente, podem surgir resultados muito próximos, porque há dados que são extremamente díspares em comparação com os restantes. Portanto, é necessário considerar limites e eliminar as soluções que apresentem dados tanto da ACV e dos CCV extremamente baixos ou elevados em comparação com os restantes. A título de exemplo, o resultado de um CCV de um elemento construtivo demasiado elevado relativamente aos restantes em análise deve, se necessário, ser excluído, de forma a obter a solução mais fiável possível.

Por fim, convertendo todos os resultados em percentagens e atribuindo as ponderações desejáveis, é possível — através do cálculo de uma matriz — obter a solução ideal, tendo em conta a análise de ciclo de vida dos materiais. Isto é, o resultado que apresentar a maior percentagem, é a melhor solução. Através da tabela e da matriz exibidas em baixo, é exequível examinar um exemplo visual da aplicação da análise de multicritério, com apoio à escolha dos elementos na construção.

Tabela 4 - Exemplo de aplicação da análise multicritério

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA												CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Ozone depletion potential kg CFC11e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Bhenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	P1												P2	
	P1/6		P1/6		P1/6		P1/6		P1/6		P1/6		P2	
Solução 1		50		0		100		50		100		50		100
Solução 2		25		100		75		25		0		25		75
Solução 3		0		75		0		75		25		100		50
Solução 4		75		25		50		100		75		0		0
Solução 5		100		50		25		0		50		75		25



Nestes retângulos cinzentos é onde se colocam os resultados exportados do *software*

One Click LCA

(*) As percentagens da tabela não têm valor lógico, sem ser indicativo para explicação do exemplo

Matriz 1 - Matriz exemplo de cálculo de obtenção de resultados

50	0	100	50	100	50	100	x	P1/6	=	R e s u l t a d o s
25	100	75	25	0	25	75		P1/6		
0	75	0	75	25	100	50		P1/6		
75	25	50	100	75	0	0		P1/6		
100	50	25	0	50	75	25		P1/6		
								P1/6		
								P2		

4.5. SUMÁRIO DOS PROCEDIMENTOS PROPOSTOS

1. Recolha de informações
2. Modelação do edifício, recorrendo a um programa BIM
3. Instalação do *plug-in* ONE CLICK LCA
4. Definição do projeto no ONE CLICK LCA e interligar as informações do modelo desenvolvido
5. Avaliação de Ciclo de Vida consoante o método proposto
6. Análise de Custos de Ciclo de Vida consoante o método proposto
7. Após a extração de resultados, aplicação do método de análise de multicritério para definir a melhor solução

5

CASO DE ESTUDO

5.1. DESCRIÇÃO DO CASO

Para o âmbito da dissertação, o desenvolvimento do caso de estudo é fundamental para a compreensão do alcance e das limitações da metodologia. Deste modo, neste capítulo, será aplicado o método proposto no capítulo 4 a um caso de estudo específico, com o objetivo de explicar e legitimar a utilidade desta metodologia para a indústria da construção.

A escolha dos materiais faz parte do dia-a-dia do setor da construção, mas nem sempre é linear. Existem diversos fatores que o arquiteto, o engenheiro ou o dono de obra têm que ter em conta na hora da decisão. Dois destes apresentam um peso significativo: a Avaliação do Ciclo de Vida e o Custo de Ciclo de Vida. Assim, recorrendo ao modelo do Bar Verde da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, utilizar-se-á como recurso a metodologia proposta com o objetivo de auxiliar na decisão do material mais apropriado a aplicar no piso interior e isolamento da cobertura do bar. A utilização do procedimento do capítulo anterior pode ser aplicado num âmbito mais geral do edifício ou, como neste capítulo, num elemento da construção específico. Não existem também limitações ao tipo de construção, pois esta metodologia pode ser aplicada tanto numa construção nova como numa reabilitação.

No final, após a aplicação da análise multicritério detalhada consoante os resultados obtidos, espera-se obter a solução ideal segundo os critérios definidos.

5.2. MODELO BIM

Como previsto na metodologia proposta, o *software* BIM, utilizado para efetuar a modelação do edifício, foi a versão inglesa do Revit 2017, que possibilita a aquisição gratuita para estudantes por um período de 3 anos. Apesar de existirem outros *softwares* no mercado, a utilização deste deve-se aos conhecimentos adquiridos acerca de Revit na cadeira de Informática de Construção do 5ºAno e, principalmente, justo ao modelo a ser utilizado ao longo do capítulo já se encontrar modelado através deste *software*.

O modelo utilizado da cafeteria/Bar verde da FEUP (figura 30) foi originalmente desenvolvido pelo Eng.º Pedro Martins e utilizado como auxílio em alguns casos de estudo de dissertações da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, relacionadas com a metodologia BIM [58]. A modelação deste edifício foi baseada em plantas arquitetónicas, cortes e alçados disponibilizados pelo Serviços Técnico de Manutenção da FEUP. Assim, o modelo BIM apenas apresenta um carácter arquitetónico.



Figura 29 - Vista aérea da FEUP



Figura 30 - Modelo paramétrico Revit

Através do modelo 3D, é facilitada a demonstração de várias informações acerca de todos os elementos do edifício. Porém, como neste caso só se efetua a análise de dois materiais, o foco irá ficar centrado no revestimento do piso interior e o isolamento da cobertura da cafeteria.

O bar é constituído por dois andares, sendo o segundo um acesso a uma passagem para o exterior. Portanto, no segundo piso, apenas existe o patamar da escada. Só é, por isso, utilizado o rés do chão para fins comerciais. Este apresenta uma área útil de 573.767 m².

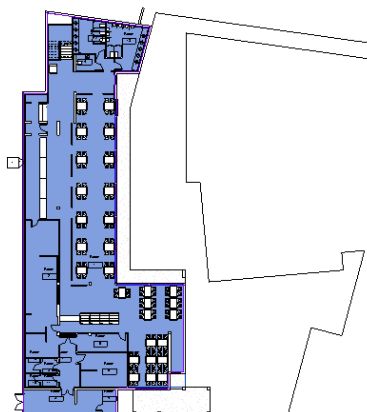


Figura 31 - Planta do Bar Verde

5.3. INTEGRAÇÃO REVIT – ONE CLICK LCA

Com o objetivo de obter a sexta dimensão do modelo BIM para efetuar a análise de sustentabilidade dos elementos construtivos, o modelo 3D desenvolvido pelo Revit complementa-se com o One Click LCA, assim como proposto no capítulo anterior. Através da instalação da aplicação do *plug-in* do programa disponibilizado pelo Autodesk, por meio de IFC, é possível que, nesta ligação, obtenhamos as informações do modelo (área, volume, materiais constituintes) e o *software* utilizado para a análise.

Inicialmente, criaram-se dois projetos com objetivos distintos (figura 32). Um efetua a Avaliação de Ciclo de Vida dos materiais de acordo com as informações presentes nas declarações ambientais de produto (DAP), integradas na base de dados. O outro realiza a análise de Custos de Ciclo de Vida de cada elemento.

O objetivo principal para a aplicação desta metodologia neste caso de estudo passa pelo auxílio à escolha do melhor elemento da construção a aplicar no revestimento do piso interior do Bar Verde da FEUP.

	Bar Verdes FEUP - LCA Rua Dr. Roberto Frias, Portugal, Educational buildings, 550	Building	Bruno Filipe Bento Martins	4 designs
	Bar Verdes FEUP - LCC Rua Dr. Roberto Frias, Portugal, Educational buildings, 550	Building	Bruno Filipe Bento Martins	4 designs

Figura 32 - Projetos do caso de estudo

Posto isto, serão escolhidos quatro diferentes tipos de revestimento de piso interior, entre todas as soluções que o One Click LCA abrange. Antes de selecionar o material a analisar, é necessário indicar no projeto em que etapa se encontra o estudo (*RIBA STAGE*). Para este caso específico, foi selecionada a “etapa 0 – definição estratégica”, uma vez que está a definir estrategicamente qual é a melhor solução.

A aplicação deste caso de estudo abarca somente os elementos de construção e as suas características. Consequentemente, decidiu-se não contabilizar a inclusão de alguns parâmetros complementares, como o consumo de energia e água, as operações de construção do estaleiro, as compensações das condições do local e os custos complementares relacionados com o capital e as operações. Obtendo, assim, uma análise pormenorizada e límpida das soluções a examinar.

Em contrapartida, os parâmetros restantes são fundamentais. Inicialmente, para cada avaliação é necessário introduzir os parâmetros iniciais distintos e as informações requeridas pelos *inputs* “parâmetros LCC” e “parâmetros LCA”. Os restantes igualam-se em ambas as avaliações (ACV e CCV).

5.3.1. ANÁLISE DAS SOLUÇÕES

Para a análise de cada caso, é necessário alimentar o *software* com as devidas informações. Portanto, antes de exportar os resultados, serão introduzidos todos os conhecimentos para obtenção de resultados completos e fidedignos. Por conseguinte, no parâmetro “*Building Materials*” será introduzido o tipo de material a estudar em cada solução e considerada a área bruta fornecida diretamente pelo Revit (*Building Area*). Os resultados obtidos terão em conta um período de vida útil de 50 anos (*Calculation Period*).

Apesar de os critérios definidos no parágrafo anterior serem transversais a ambas as análises, existem dois que requerem uma atenção especial: o “parâmetro LCA” e o “parâmetro LCC”. O primeiro está somente ligado à Avaliação de Ciclo de Vida e aqui são introduzidas as seguintes informações: tipo de projeto – apenas a avaliação de componentes; tipo de estrutura – betão armado; materiais para ACV – acabamentos e outros materiais. Relativamente ao outro parâmetro, que está diretamente ligado aos CCV, são inseridos o país onde é realizada a obra e moeda local.

5.3.2. Caso 1 – Revestimento de piso interior

Neste caso, será estudada a escolha de revestimento de piso tendo em conta o ciclo de vida do material. Ao recorrer ao parâmetro “*Building Materials*” e à base de dados do One Click LCA, o utilizador determina o tipo de material a empregar em cada solução.

Em primeira instância, é necessário determinar o recurso presente no *input* que está ligado ao elemento em análise no Revit. Estando esta ligação concluída, só é necessário selecionar o material para análise tendo como auxílio opções de filtragem (figura 33).



Figura 33 - Filtros para seleção do material indicado

Com o intuito de verificar a funcionalidade da metodologia proposta, neste subcapítulo foram selecionados quatro tipos de revestimento de piso.

O que se segue é uma descrição e análise dos materiais escolhidos para serem utilizados como revestimento de piso interior e dos resultados correspondentes à ACV e aos CCV.

➤ SOLUÇÃO 1 – VINYLCONFORT FLOATING

Esta solução é um material desenvolvido pela indústria portuguesa, produzido pela Amorim Revestimentos S.A. Foi introduzido na base de dados do One Click LCA em 2013, apresenta uma densidade de 966 kg/m³ e um tempo de vida útil de 20 anos. A DAP integrada no *software* está representada da seguinte forma - *EPD Amorim Revestimentos S.A VinylConfort Floating*.

Por meio deste elemento, é possível combinar os luxuosos *designs* do vinil com o conforto da cortiça, sendo o seu aspeto exterior representado em madeira (figura 34).



Figura 34 - VinylConfort Floating [59]

Após a introdução do material no projeto desenvolvido para o estudo desta solução e, também, tendo introduzido devidamente todas as informações citadas no início do subcapítulo, obtém-se os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 5) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 6).

Tabela 5 - Resultados ACV da solução 1 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	<i>Global warming kg CO₂e</i>	<i>Acidification kg SO₂e</i>	<i>Eutrophication kg PO₄e</i>	<i>Ozone depletion potential kg CFC11e</i>	<i>Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee</i>	<i>Primary energy MJ</i>
A1 – A3	971,39	7,06	1,87	0	0,464	28 814,1
B1 - B5	1 942,78	14,12	3,73	0	0,93	57 628,19
C1 – C4	4,54	0,03	0,01	0	0	94,36
TOTAL	2918.71	21.21	5.61	0	1.394	86536.65

Tabela 6 - Resultados CCV da solução 1 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL €
A1 – A3	33 352
B1 – B4	37 550
C1 – C4	310
TOTAL	71212

➤ SOLUÇÃO 2 – CORK FLOORING FLOATING WATERPROOF

A solução de cortiça à prova de água, fabricado pela empresa Amorim S.A, revela um equilíbrio único entre o luxo e a sustentabilidade ambiental. Esta já se encontra introduzida no *software* desde 2016, ostenta uma densidade de 1400 kg/m³, um tempo de vida útil de 20 anos e a DAP integrada no *software* está representada da seguinte forma - *EPD Amorim Revestimentos S.A Cork Flooring Floating Waterproof*.

O revestimento de cortiça flutuante à prova de água presenteia os utilizadores com uma solução flutuante de baixa espessura com uma série de benefícios. É resistente à água e incrivelmente estável, conservando as propriedades resilientes e o conforto ímpar da cortiça. Este apresenta um *PressFit*, um método de compressão que funciona exatamente como uma rolha de cortiça, tirando partido da flexibilidade, elasticidade e compressibilidade da cortiça.



Figura 35 - Cork flooring floating waterproof [60]

Procede-se, então, à obtenção de resultados derivados da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 7) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 8).

Tabela 7 - Resultados ACV da solução 2 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	2 677,47	16,28	5,1	0	0,81	54 237,33
B1 - B5	5 354,93	32,57	10,21	0	1,62	108 474,67
C1 – C4	6,57	0,05	0,01	0	0,01	136,66
TOTAL	8038.97	48.9	15.32	0	2.44	162848.66

Tabela 8 - Resultados CCV da solução 2 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL
A1 – A3	7 644
B1 – B4	8 606
C1 – C4	71
TOTAL	16321

➤ SOLUÇÃO 3 – LINOLEUM FLOORING

Nos Estados Unidos da América, na Tarkett, é fabricada este revestimento em linóleo em específico. Este elemento é reconhecido por satisfazer algumas características ímpares – elevada durabilidade; reduzido desbotamento da superfície (*colorfast*); propriedades anti-estáticas, repelindo partículas nocivas da sua superfície; capacidade de inibir o crescimento de germes e organismos microscópicos.

Particularmente, este material selecionado apresenta aproximadamente uma vida útil de 35 anos, uma densidade de 1200 kg/m³ e já se encontra introduzido na base de dados do programa desde de 2013 com a seguinte DAP – *EPD Tarkett Linoleum Flooring Resilient Floor Covering*.



Figura 36 - Linoleum Flooring [61]

Após a introdução das respetivas características, estes são os resultados obtidos da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 9) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 10).

Tabela 9 - Resultados ACV da solução 3 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	2 012,41	24,64	8,26	0	1,64	79 292
B1 - B5	2 012,41	24,64	8,26	0	1,64	79 292
C1 – C4	5,63	0,04	0,01	0	0,01	117,14
TOTAL	4030.45	49.32	16.53	0	3.29	158701.14

Tabela 10 - Resultados CCV da solução 3 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL
A1 – A3	33 352
B1 – B4	16 677
C1 – C4	310
TOTAL	50339

➤ SOLUÇÃO 4 – MODULAR CARPET TILE

Este trata-se de um material desenvolvido pela indústria americana, produzido na Masland Contract. Foi introduzido na base de dados do One Click LCA em 2014, apresenta uma densidade de 458 kg/m³, um tempo de vida útil de 15 anos e a DAP integrada no *software* está representada da seguinte forma – *Modular Carpet Family, Masland Contract 2014*.



Figura 37 - Modular carpet tile [62]

Para além dos mosaicos de alcatifa permitirem misturar e combinar produtos, cores e estruturas para se adequarem a cada estilo de *design* de interiores, estes vão ao encontro das exigências específicas de cada projeto. Desde o desempenho acústico e da reflexão luminosa, a um maior conforto ao caminhar.

Uma cuidada abordagem através da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 11) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 12) permitiu-nos chegar aos resultados seguintes.

Tabela 11 - Resultados ACV da solução 4 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	2 578,54	24,6	2,3	0	3,57	36 331,03
B1 - B5	7 735,63	73,8	6,91	0	10,71	108 993,1
C1 – C4	34,35	0,07	0,03	0	0,01	254,96
TOTAL	10348.52	98.47	9.24	0	14.29	145579.09

Tabela 12 - Resultados CCV da solução 4 (caso 1)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL (€)
A1 – A3	31 142
B1 – B4	53 085
C1 – C4	310
TOTAL	84537

5.3.3. Caso 2 – Isolamento da cobertura

Com o objetivo de aumentar a viabilidade do método proposto, à semelhança do que acontece no caso 1, será novamente aplicada a metodologia para a seleção de outro elemento da construção.

Deste modo, a seguir serão descritos e analisados os isolamentos escolhidos da base de dados do One Click LCA.

➤ SOLUÇÃO 1 – LÃ DE ROCHA RÍGIDA E REPELENTE DE ÁGUA

A lã de rocha é usualmente utilizada como material isolante. Esta como apresenta baixa condutibilidade térmica e elevado índice de absorção acústica, garante conforto ambiental e ajuda a reduzir os níveis de energia despendido.

Este material em específico é fabricado pela Isover, é oriundo de Portugal, destina-se à aplicação em telhados e já se encontra disponível na base do *software* desde de 2015 com a seguinte *DAP – EPD Isover IXXO*.



Figura 38 - Painéis de lã de rocha [63]

Seguindo os procedimentos adaptados aos materiais já mencionados, aqui ficam demonstrados os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 13) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 14).

Tabela 13 - Resultados ACV da solução 1 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	3 186,81	19,09	3,61	0	1,02	58 645,09
C1 – C4	7,81	0,06	0,01	0	0,01	162,52
TOTAL	3194.62	19.15	3.62	0	1.03	58807.61

Tabela 14 - Resultados CCV da solução 1 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL €
A1 – A3	11 741
C1 – C4	109
TOTAL	11850

➤ SOLUÇÃO 2 – ISOLAMENTO RÍGIDO PIR (POLISOCIANURATANO) OU PUR (POLIURETANO)

Quando pretendida a utilização de poliuretano rígido para isolamento, é automaticamente feita a referência a um específico grupo de materiais de isolamento com base em PUR (poliuretano) ou PIR (poliisocianurato). Pois este grupo apresenta uma estrutura de células fechadas, contendo características de um excelente isolante e comportando-se de forma distinta à compressão e estabilidade dimensional.

Neste caso será utilizado o isolamento com base em PIR para coberturas fabricado pela Knauf. É um material francês, introduzido no One Click LCA.



Figura 39 - Painéis de isolamento rígido de PIR [64]

Com a informação devidamente submetida, obtemos os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 15) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 16) que se seguem.

Tabela 15 - Resultados ACV da solução 2 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	2 680,01	12,85	1,85	0	1,12	38 829,59
C1 – C4	1,74	0,01	0	0	0	36,18
TOTAL	2681.75	12.86	1.85	0	1.12	38865.77

Tabela 16 - Resultados CCV da solução 2 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL €
A1 – A3	4 564
C1 – C4	42
TOTAL	4606

➤ SOLUÇÃO 3 – ISOLAMENTO EPS

O poliestireno expandido (EPS), normalmente designado por esferovite, é um dos materiais mais procurados para isolamentos térmicos das habitações. Estes podem ser utilizados em coberturas, paredes duplas, fachadas ou pavimentos.

A sua leveza, a grande capacidade de isolamento térmico, a elevada resistência e o tempo de vida útil, a precisão e a versatilidade — diferentes densidades e espessuras permitem a adequação do material ao fim pretendido — comprovam um conjunto de características determinantes para que este material se encontra entre os mais procurados e escolhidos.

Fabricado pela Isover, tem origem na República Checa e já se encontra disponível na base do *software* desde de 2017 com a seguinte DAP – *EPD Isover EPS GreyWall 100F Isover EPS Grey 100*.



Figura 40 - Painel Isolante EPS [65]

Através da Avaliação de Ciclo de Vida (tabela 18) e dos Custos de Ciclo de Vida (tabela 19), é possível chegar aos seguintes resultados.

Tabela 17 - Resultados ACV da solução 3 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	12 923,46	17,43	3,13	0	18,01	376 542,63
C1 – C4	5,46	0,03	0	0	0	81,48
TOTAL	12928.92	17.46	3.13	0	18.01	376624.11

Tabela 18 - Resultados CCV da solução 3 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL €
A1 – A3	1 505
C1 – C4	14
TOTAL	1519

➤ SOLUÇÃO 4 – ISOLAMENTO DE FIBRA DE MADEIRA

O isolamento de fibra de madeira visa o eficaz desempenho de isolante, mas ao mesmo tempo contribuir para a sustentabilidade ambiental da construção. Sendo produzidos através de matérias-primas renováveis e sem aditivos nocivos, este pode ser utilizado em coberturas, paredes duplas, fachadas ou pavimentos.

O produto desta solução é fabricado pela Steico, é de origem francesa e já se encontra disponível na base do *software* desde de 2016, com a seguinte *DAP – EPD Wood fibre insulation materials STEICO*.



Figura 41 - Painel isolante de fibra de madeira [66]

A metodologia já mencionada e selecionada para este estudo leva-nos aos seguintes resultados.

Tabela 19 - Resultados ACV da solução 4 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	Global warming kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Primary energy MJ
A1 – A3	3 397,11	5,98	1,37	0	1,33	55 530,68
C1 – C4	8,41	0,06	0,01	0	0,01	175,01
TOTAL	3405.52	6.04	1.38	0	1.34	55705.69

Tabela 20 - Resultados CCV da solução 4 (caso 2)

Fase de ciclo de vida	CUSTOS TOTAIS DE CICLO DE VIDA DO MATERIAL €
A1 – A3	9 790
C1 – C4	91
TOTAL	9881

5.4. APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Já no capítulo 4 se introduziu a utilização do método de análise de multicritério como um fator fundamental para auxiliar a seleção da melhor solução nesta metodologia.

Ao analisar os resultados da ACV, outrora explícitos, foi decidido eliminar o fator ambiental “*Ozone Depletion Potencial*”, pois neste caso este não apresenta qualquer interferência na aplicação da análise multicritério. Deste modo, consoante a ponderação dada à ACV, em vez de ser repartida por seis critérios, passa a ser distribuída por cinco, pois foi eliminado um dos subcritérios.

Tal como citado no subcapítulo 4.4., fica ao encargo de cada utilizador definir as ponderações a atribuir aos critérios da ACV e CCV, tendo em conta que a soma de ambas tem que ser igual a 100%. Desta forma, serão analisadas três diferentes hipóteses:

1. **A Equilibrada** – O utilizador decide dar a mesma importância à sustentabilidade ambiental e ao custo de ciclo de vida do elemento, definindo uma ponderação de 50% para cada critério.
2. **A Ambientalista** – O utilizador considera que o aspeto ambiental é o mais importante, definindo 75% para a ACV e 25% para os CCV.
3. **A Económica** – O utilizador aponta como mais significativo o custo global durante o ciclo de vida do material, definindo 75% para os CCV e 25% para a ACV.

É importante de salientar que outro utilizador que utilize este método para seleção de elementos para a construção não está obrigado a utilizar as suposições anteriores, podendo definir e atribuir as ponderações que ache ser o mais indicado para o seu caso.

Logo após à obtenção dos resultados das soluções em 5.3.1., será aplicada a análise multicritério, considerando as hipóteses definidas. Pretende-se alcançar, por fim, a melhor solução para cada conjectura.

Nota:

Os cálculos efetuados para a determinação dos percentis de cada parâmetro apresentados no próximo subcapítulo, encontram-se disponíveis no anexo A1.

5.4.1. ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO CASO 1

1. A equilibrada

Tabela 21 - Aplicação da análise multicritério à hipótese equilibrada (caso 1)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	50%										50%	
	10%		10%		10%		10%		10%		50%	
Solução 1	2918.71	100	21.21	100	5.61	100	1.394	100	86536.65	100	71212	19.5
Solução 2	8038.97	31.1	48.9	64.2	15.32	11	2.44	91.2	162848.66	0	16321	100
Solução 3	4030.45	85	49.32	63.6	16.53	0	3.29	84.6	158701.14	5.4	50339	50.1
Solução 4	10348.52	0	98.47	0	9.24	66.3	14.29	0	145579.09	22.6	84537	0

Matriz 2 - Solução equilibrada caso 1

100	100	100	100	100	19.5	X	10%	=	59.75	Solução 1
31.1	64.2	11	91.2	0	100		10%		69.75	Solução 2
85	63.6	0	84.6	5.4	50.1		10%		48.91	Solução 3
0	0	66.3	0	22.6	0		10%		8.89	Solução 4
							10%			
							10%			
							50%			

2. A Ambientalista

Tabela 22 - Aplicação da análise multicritério à hipótese ambientalista (caso 1)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO ₂ e	Percentagem	Acidification kg SO ₂ e	Percentagem	Eutrophication kg PO ₄ e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	75%										25%	
	15%		15%		15%		15%		15%		25%	
Solução 1	2918.71	100	21.21	100	5.61	100	1.394	100	86536.65	100	71212	19.5
Solução 2	8038.97	31.1	48.9	64.2	15.32	11	2.44	91.2	162848.66	0	16321	100
Solução 3	4030.45	85	49.32	63.6	16.53	0	3.29	84.6	158701.14	5.4	50339	50.1
Solução 4	10348.52	0	98.47	0	9.24	66.3	14.29	0	145579.09	22.6	84537	0

Matriz 3 - Solução ambientalista caso 1

100	100	100	100	100	19.5	X	15%	=	79.875	Solução 1
31.1	64.2	11	91.2	0	100		15%		54.625	Solução 2
85	63.6	0	84.6	5.4	50.1		15%		48.315	Solução 3
0	0	66.3	0	22.6	0		15%		13.335	Solução 4
							15%			
							15%			
							25%			

3. A Económica

Tabela 23 - Aplicação da análise multicritério à hipótese económica (caso 1)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	25%										75%	
	5%		5%		5%		5%		5%		75%	
Solução 1	2918.71	100	21.21	100	5.61	100	1.394	100	86536.65	100	71212	19.5
Solução 2	8038.97	31.1	48.9	64.2	15.32	11	2.44	91.2	162848.66	0	16321	100
Solução 3	4030.45	85	49.32	63.6	16.53	0	3.29	84.6	158701.14	5.4	50339	50.1
Solução 4	10348.52	0	98.47	0	9.24	66.3	14.29	0	145579.09	22.6	84537	0

Matriz 4 - Solução económica caso 1

100	100	100	100	100	19.5	X	5%	39.625	Solução 1
31.1	64.2	11	91.2	0	100		5%	84.875	Solução 2
85	63.6	0	84.6	5.4	50.1		5%	49.505	Solução 3
0	0	66.3	0	22.6	0		5%	4.445	Solução 4
							5%		
							5%		
							75%		

5.4.2. ANÁLISE MULTICRITÉRIO APLICADA AO CASO 2

1. A Equilibrada

Tabela 24 - Aplicação da análise multicritério à hipótese equilibrada (caso 2)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	50%										50%	
	10%		10%		10%		10%		10%		50%	
Solução 1	3194.62	94.97	19.15	0	3.62	0	1.03	100	58807.61	94.1	11850	0
Solução 2	2681.75	100	12.86	48	1.85	79	1.12	99.5	38865.77	100	4606	70.1
Solução 3	12928.92	0	17.46	12.9	3.13	21.9	18.01	0	376624.11	0	1519	100
Solução 4	3405.52	92.91	6.04	100	1.38	100	1.34	98.2	55705.69	95	9881	19.1

Matriz 5 - Solução equilibrada caso 2

94.97	0	0	100	94.1	0	x	10%	=	28.907	Solução 1
100	48	79	99.5	100	70.1		10%		77.7	Solução 2
0	12.9	21.9	0	0	100		10%		53.48	Solução 3
92.91	100	100	98.2	95	19.1		10%		58.161	Solução 4
							50%			

2. A Ambientalista

Tabela 25 - Aplicação da análise multicritério à hipótese ambientalista (caso 2)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethene	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	75%										25%	
	15%		15%		15%		15%		15%		25%	
Solução 1	3194.62	94.97	19.15	0	3.62	0	1.03	100	58807.61	94.1	11850	0
Solução 2	2681.75	100	12.86	48	1.85	79	1.12	99.5	38865.77	100	4606	70.1
Solução 3	12928.92	0	17.46	12.9	3.13	21.9	18.01	0	376624.11	0	1519	100
Solução 4	3405.52	92.91	6.04	100	1.38	100	1.34	98.2	55705.69	95	9881	19.1

Matriz 6 - Solução ambientalista caso 2

94.97	0	0	100	94.1	0	x	15%	=	43.3605	Solução 1
100	48	79	99.5	100	70.1		15%		81.5	Solução 2
0	12.9	21.9	0	0	100		15%		30.22	Solução 3
92.91	100	100	98.2	95	19.1		15%		77.6915	Solução 4
							15%			
							15%			
							25%			

3. A Económica

Tabela 26 - Aplicação da análise multicritério à hipótese económica (caso 2)

	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA										CUSTOS DE CICLO DE VIDA	
	Global warming kg CO2e	Percentagem	Acidification kg SO2e	Percentagem	Eutrophication kg PO4e	Percentagem	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Percentagem	Primary energy MJ	Percentagem	Custos totais	Percentagem
Ponderações	25%										75%	
	5%		5%		5%		5%		5%		75%	
Solução 1	3194.62	94.97	19.15	0	3.62	0	1.03	100	58807.61	94.1	11850	0
Solução 2	2681.75	100	12.86	48	1.85	79	1.12	99.5	38865.77	100	4606	70.1
Solução 3	12928.92	0	17.46	12.9	3.13	21.9	18.01	0	376624.11	0	1519	100
Solução 4	3405.52	92.91	6.04	100	1.38	100	1.34	98.2	55705.69	95	9881	19.1

Matriz 7 - Solução económica caso 2

94.97	0	0	100	94.1	0	x	5%	=	14.4535	Solução 1
100	48	79	99.5	100	70.1		5%		73.9	Solução 2
0	12.9	21.9	0	0	100		5%		76.74	Solução 3
92.91	100	100	98.2	95	19.1		5%		38.6305	Solução 4
							5%			
							5%			
							75%			

5.5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

• Caso 1

Analisando em primeiro lugar os resultados obtidos através da ACV e do CCV das soluções em estudo, é possível considerar que o custo de ciclo de vida da solução 2 — *Cork flooring floating waterproof* — é substancialmente mais reduzido em comparação com os restantes revestimentos de piso. Tal origina uma ligeira discrepância entre as soluções de acordo com o presente critério.

Numa segunda instância, podemos apontar o tempo de vida útil como grande condicionante dos resultados. Ao analisar a figura 42, verifica-se que todos os materiais selecionados apresentam uma vida útil inferior à desejada (50 anos de vida útil). Este fator ocasiona um aumento dos impactos ambientais e dos custos de ciclo de vida, que será indicado nas fases B1 a B5 (manutenção e substituição de material). Melhor explicando, o elemento que apresente um tempo de vida útil muito inferior a 50 anos irá ter valores elevados na fase B1 a B5, mas se o seu tempo de vida útil for próximo ou igual ao tempo desejado, os valores desta fase em questão serão menores. É analisando criteriosamente os resultados das soluções sob forma de percentagens que comprovamos este fenómeno.

A solução 4 — *Modular carpet tile* — contém um tempo de vida útil de 15 anos e os seus valores na fase de manutenção e substituição de material são bastante elevados, consolidando esta como a pior solução em todos os critérios ambientais e monetários. À exceção do “*Primary Energy*”.

Por outro lado, a solução 3 — *Linoleum flooring* —, uma vez que apresenta um tempo de vida útil de 35 anos, mais próximo do tempo de vida útil desejado, não dispõe de valores tão elevados na fase B1 a B5.

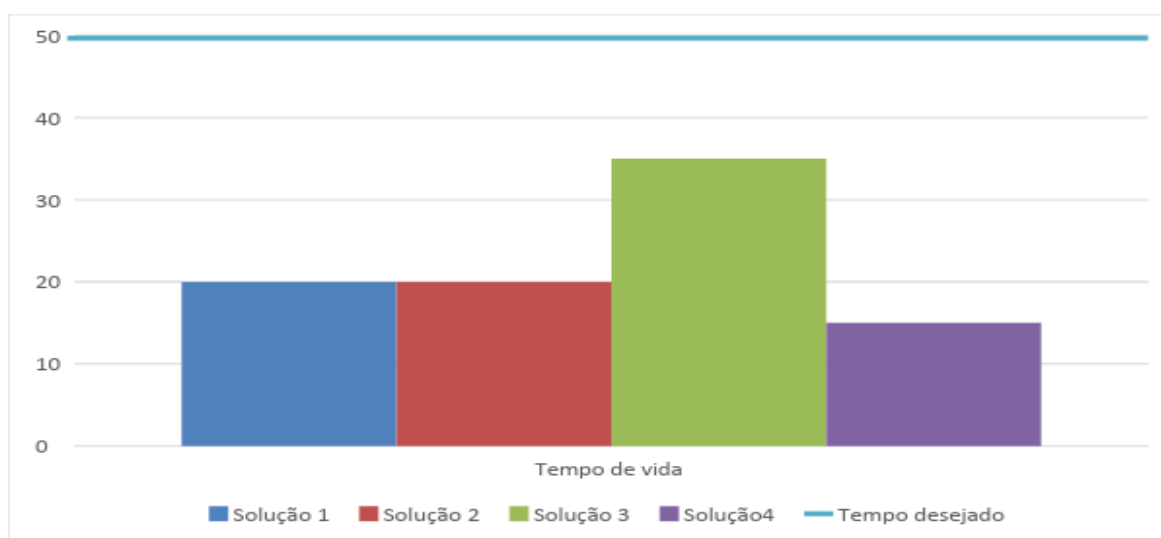


Figura 42 - Análise do tempo de vida dos materiais do caso 1

A aplicação da análise multicritério permite obter uma conclusão sintética simples no final da avaliação, servindo de auxílio à escolha da melhor solução. Esta metodologia possibilita a adaptação das conclusões às preferências dos utilizadores, o que auxilia a definição de soluções para três hipóteses distintas.

Na primeira hipótese, a equilibrada, onde se dá a mesma importância a ambos os critérios em análise, a melhor solução é a 2 — *Cork flooring floating waterproof* (figura 45). Contudo, logo de seguida aparece a solução 1, isto porque por análise das figuras 43 e 44, verificamos que apesar de ser uma solução com

menos impactos ambientais, esta perde no facto de apresentar um custo global de ciclo de vida bem mais elevado.

Na hipótese mais sustentável, a solução escolhida é a 1 — *Vinyl Confort Floating* —, pois é aquela que se apresenta como favorável a todos os fatores da Avaliação de Ciclo de Vida (figura 44). As restantes soluções não apresentam uma grande homogeneidade de resultados e, por isso, é natural que a solução escolhida se destaque entre as demais.

Ainda ao ser concedida uma maior relevância ao Custo de Ciclo de Vida com o propósito de obter a solução mais económica, a escolha recai novamente sobre solução 2. Neste caso, era de esperar que a solução 2 fosse a mais económica, visto que o seu CCV global é muito inferior ao das restantes.

Um aspeto que é transversal a todas as hipóteses é a assimilação da solução 4 — *Modular carpet tile* — como a pior. Este deve-se essencialmente ao tempo de vida útil reduzido do material em relação ao desejado, como já referido anteriormente (figura 45).

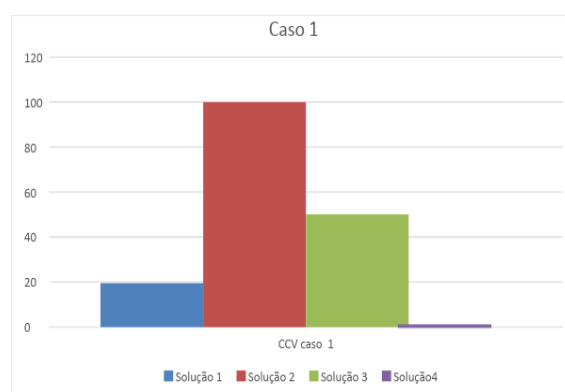
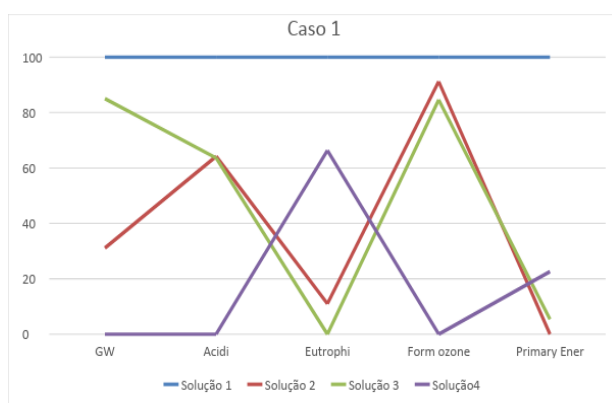


Figura 44 - Análise ambiental dos percentis do caso 1

Figura 43 - Análise económica dos percentis do caso 1

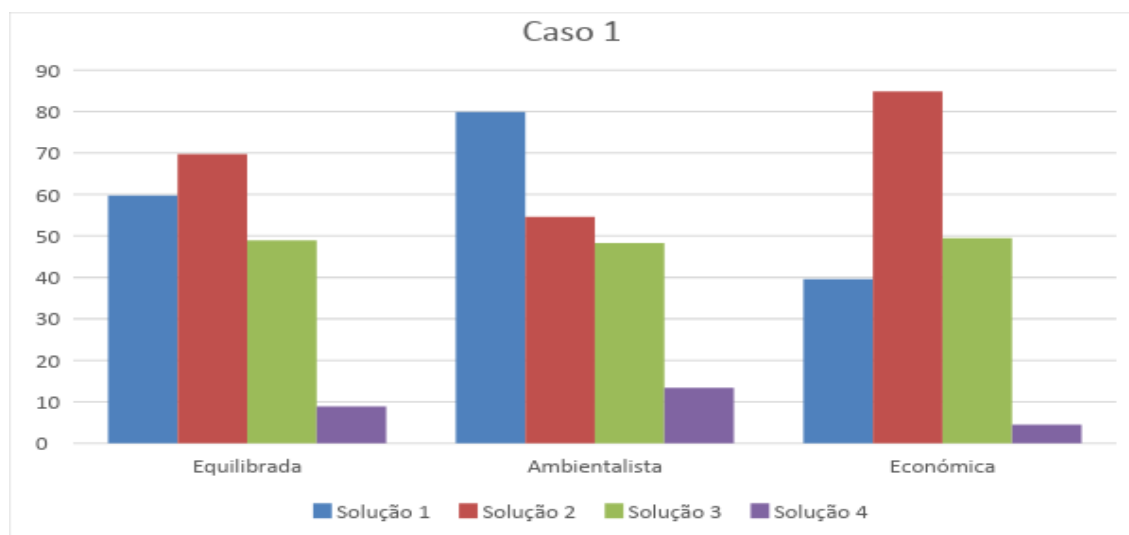


Figura 45 - Análise das soluções finais por hipóteses do caso 1

• Caso 2

Assim como no caso 1, neste caso foi definido que o tempo de vida útil que o elemento construtivo deveria de cumprir se prende nos 50 anos. Todavia, como ambos os casos se referem somente aos elementos em questão, ao contrário do que se sucedia no primeiro caso, os isolamentos que foram seleccionados para análise apresentavam todos um tempo de vida útil superior ao desejado. Este facto proporciona a ausência de dados relativos aos elementos construtivos nas fases B1 a B5, pois os mesmos são calculados pelo *software*, tendo em vista o tempo de vida útil desejado e a vida útil de cada material.

A solução 2 e 4 são as mais homogéneas relativamente à hipótese ambiental (figura 47). Todavia, apesar de a solução 4 - *isolamento de fibra de madeira*, comparativamente com a solução 2 - *ISOLAMENTO RÍGIDO PIR*, apresentar impactos ambientais mais reduzidos, a solução seleccionada após a análise multicritério é a 2 (figura 48). Isto sucede-se porque os CCV globais não são descurados nesta análise, e através da análise dos percentis relativos aos custos das soluções (figura 46) verifica-se que a solução 2 apresenta-se neste aspeto com relativa vantagem sobre a solução 4. Assim se justifica a seleção da solução 2 como solução final na hipótese ambiental.

Por outro lado, ao ceder maior valor aos custos, as soluções 2 e 3 – isolamento de poliestireno expandido (EPS) sobem a sua vantagem, ainda que com maior enfoque para a 3 (figura 46). Ao serem destacados o custos, a solução seleccionada é a 3, apesar da pouca diferença para o resultado final da 2 (figura 48).

Já num equilíbrio de critérios, com alguma distância das restantes, a solução escolhida é a 2. Esta apresenta maior homogeneidade nos resultados da ACV e do CCV.

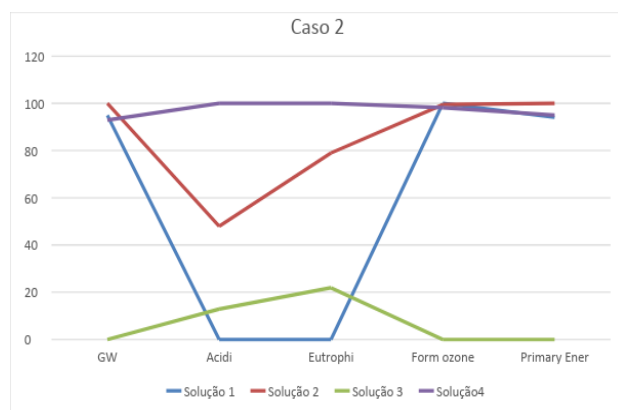


Figura 47 - Análise ambiental dos percentis do caso 2

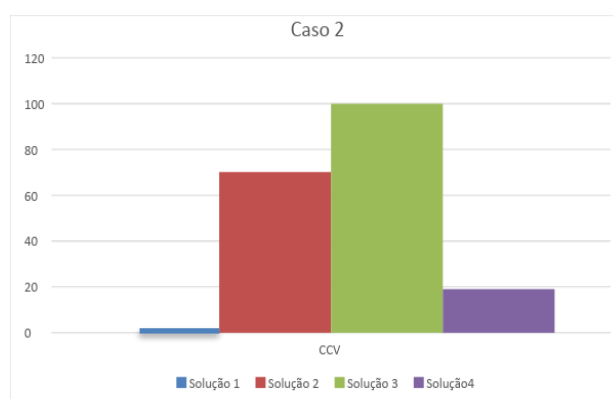


Figura 46 - Análise económica dos percentis do caso 2

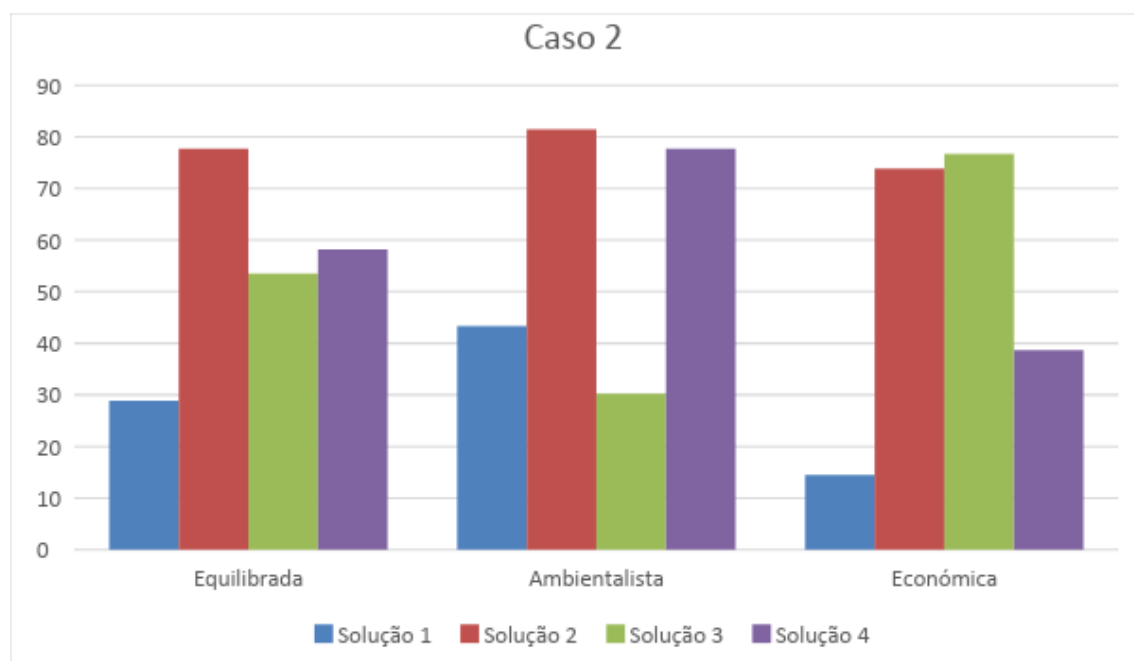


Figura 48 - Análise das soluções finais por hipóteses do caso 2

6

CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

Sabendo que o paradigma mundial relativo à redução dos impactos ambientais negativos está cada vez mais difundido, a indústria da AECO também tem lutado para não ficar indiferente. Foi neste sentido que se desenvolveu o objetivo da presente dissertação e que passa por elucidar o setor da construção na seleção de elementos sustentáveis para a construção, não descurando a vertente económica.

A interligação entre a metodologia BIM e a Análise de Ciclo de Vida não é uma discussão recente. Já é possível encontrar alguns estudos introdutórios, embora não demonstrem na totalidade as utilidades das ferramentas que mencionam. Neste caso, após uma análise a diversas ferramentas do mercado, segundo critérios definidos, ficou decidida a ligação entre o *software* de modelação (Revit) e a ferramenta de ACV (One Click LCA) para a metodologia pretendida.

Através dessa ligação foi possível alcançar a sexta dimensão (6D) BIM, que desempenha um papel basilar para o caso de estudo. Para além de ser de fácil utilização e de analisar todo o ciclo de vida, fornece um vasto banco de dados de materiais com declarações ambientais de produto (DAP) e Custos de Ciclo de Vida diretamente associados. Garante a passagem direta de dados entre os *softwares*, permite a exportação e comparação de diferentes soluções, bem como a realização de análises generalizadas ou detalhadas. Pode ainda ser utilizada desde o início do projeto. Diante disso, ao aplicar a metodologia a um caso de estudo, pretendia-se responder à seguinte questão – “*De que forma é que a integração Revit-One Click LCA auxilia na seleção de elementos sustentáveis na construção, não negligenciando os custos?*”.

Foi, por isso, testada a metodologia em dois diferentes casos: revestimento de piso interior e isolamento para cobertura. Depois de selecionar algumas soluções da base de dados do One Click LCA para análise de cada caso, o objetivo passava por exportar os resultados de ACV e dos CCV e aplicar a metodologia de análise de multicritério para a seleção do melhor material. Sendo o utilizador quem decide que ponderações atribuir a cada critério, faz com que este tenha interferência direta na solução. Se o objetivo é obter a solução mais sustentável de todas, a que produz menos impactos ambientais, o utilizador não poderá olhar a custos e terá que dar o total das ponderações à avaliação de ciclo de vida. Contudo, para este caso de estudo decidiu-se atribuir três ponderações que não descurassem nenhum dos critérios (1. A equilibrada; 2. A Ambientalista; 3. A Económica).

Inicialmente, não era esperado encontrar uma grande quantidade de constrangimentos para alcançar o objetivo final, porque a utilização de metodologia BIM representa uma análise mais simples e intuitiva. Contudo, mesmo conseguindo responder à questão, comprovando a fidelidade da metodologia, foram encontradas dificuldades ao longo da elaboração desta tese. As principais passaram pela correta modelação do modelo do Bar Verde no Revit — necessitando de corrigir alguns erros de medidas — e pela adaptação dos materiais corretos aos pisos e coberturas. Outro constrangimento acontece aquando da seleção do material no One Click LCA, devido à falta de seleção automática no Revit, tornando-se num processo de ligação do material entre *softwares* moroso e mais complexo. Um último constrangimento deve-se à seleção dos elementos da construção. Apesar de existirem filtros para a escolha de materiais, a metodologia só abrange os elementos selecionados e não todos os que estão presentes na base de dados.

Um setor em constante desenvolvimento é um setor rico. Depois de lançados os primeiros desafios, a presente dissertação pretende, além disso, ser pioneira de um futuro modelo a utilizar pelos profissionais da área. Partindo da metodologia apresentada, talvez no futuro esta pudesse consolidar a ligação BIM-ACV-CCV ao implementá-la diretamente no *software*. Esta solução e aperfeiçoamento da teoria que esta mesma tese propõe tornaria a escolha da melhor solução um processo mais simples, integrado e rápido.

Ainda que o caminho para a sustentabilidade integral sobre o setor se avizinha longo, nomeadamente quando analisamos o panorama português, há já profissionais e ideias que estão a mudar o mundo da construção que conhecemos até hoje. A 13 de março de 2018, o Jornal Público destacava a Dinamarca e a Alemanha como exemplos na construção sustentável. Em ambos os países já podemos encontrar “edifícios inteiramente constituídos com materiais reciclados”. Apontava ainda, contudo, Portugal como um país pouco desenvolvido em matéria de sustentabilidade. No mesmo artigo, dá a conhecer o projeto da arquiteta portuguesa Aline Guerreiro, que procurou dar um passo em frente na história que o nosso país escrevia até então. Ao verificar que existiam poucas informações no mercado sobre materiais “amigos do ambiente”, a arquiteta avança na criação de um portal de construção sustentável, uma base de dados que apoia quem quer optar pela sustentabilidade. Com vontade de dar um passo ainda maior para o desenvolvimento da temática, candidata-se a um projeto de economia circular [67]. A prova de que, ainda com um relógio em atraso, Portugal é hoje já casa de treino de melhorias no setor. Esta tese pretende correr no mesmo sentido, agindo como mais um passo significativo nesta história que escrevemos no setor da construção português.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, D. J., Pul, L. (2018). *A VALIDATION STUDY OF A SEMI-AUTOMATIC BIM-LCA TOOL*. 2º Congresso Português de Building Information Modelling, 17 e 18 de maio de 2018, Instituto Superior Técnico, págs 251-260, Universidade de Lisboa.
- [2] Martins, P. P. J. (2009). *Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [3] Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on environment and development.* "our common future.". UN.
- [4] Torgal, F., Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho.
- [5] Ecologia Circular. (2015). *Sustainability and Sustainable Development*. Circular Ecology Ltd. Disponível em: (<http://www.circularecology.com/sustainability-and-sustainabledevelopment.html#.VvBSeOKLSUm>). [Acedido abril, 2018]
- [6] Daly, H. E. (1990). *Toward some operational principles of sustainable development*. Ecological economics 2 (1):1-6.
- [7] Sanhudo, L. (2016). *BIM for building sustainability assessment*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [8] Mateus, R. (2009). *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*. Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho.
- [9] Costa, H. (2012). *Desenvolvimento de um Índice de conforto para os ocupantes de edifícios via técnicas de data mining*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- [10] Fernandes, A. (2013). *Métodos de Avaliação da Sustentabilidade das Construções*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [11] Expresso, Tomás, C., Marques, R. (2018). *Meio Cheio meio vazio*. Disponível em: (<http://expresso.sapo.pt/sociedade/2018-03-17-Meio-cheio-meio-vazio#gs.j5cqzSM>). [Acedido em junho, 2018]
- [12] Expresso, Prado, M. (2017). *Dependência de Portugal da energia comprada lá fora atinge 2º melhor valor da década*. Disponível em: (<http://expresso.sapo.pt/economia/2017-06-30-Dependencia-de-Portugal-da-energia-comprada-la-fora-atinge-2-melhor-valor-da-decada#gs.izuu7UM>). [Acedido em junho, 2018]
- [13] Expresso, Gonçalves, M. (2017). *Emissões de CO2 em Portugal "são mínimas" à escala global mas "elevadas" para o país*. Disponível em: (<http://expresso.sapo.pt/sociedade/2017-10-30-Emissoes-de-CO2-em-Portugal-sao-minimas-a-escala-global-mas-elevadas-para-o-pais#gs.RZkyzgA>). [Acedido em junho, 2018]
- [14] "Portugal 2020" [Online]. Disponível: (<https://www.portugal2020.pt/Portal2020>) . [Acedido em Abril 2018]
- [15] "Agenda 2030". [Online]. Disponível: (<http://www.instituto-camoes.pt/activity/o-que-fazemos/cooperacao/cooperacao-portuguesa/mandato/ajuda-ao-desenvolvimento/agenda-2030>) . [Acedido em Abril 2018].

- [16] Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- [17] Expresso. (2017). *Construção abranda ritmo de crescimento em 2018, diz a federação do setor*. Disponível em: (<http://expresso.sapo.pt/economia/2017-12-27-Construcao-abranda-ritmo-de-crescimento-em-2018-diz-a-federacao-do-setor#gs.u=X4K6c>). [Acedido em junho, 2018]
- [18] Lusa/Diário de Notícias (2017). *Agência do Ambiente e empresas divergem em números sobre a valorização de resíduos de construção*. Disponível em: (<https://www.dn.pt/lusa/interior/agencia-do-ambiente-e-empresas-divergem-em-numeros-sobre-valorizacao-de-residuos-de-construcao-8547242.html>). [Acedido em junho, 2018]
- [19] Lusa/Diário de Notícias (2018). *'Startup' que cria blocos para a construção com dióxido de carbono distinguida no Porto*. Disponível em: (<https://www.dn.pt/lusa/interior/startup-que-cria-blocos-para-construcao-com-dioxido-de-carbono-distinguida-no-porto-9420416.html>). [Acedido em junho, 2018]
- [20] "Conserve energy future, What is green construction?". Disponível em : (<https://www.conserve-energy-future.com/top-sustainable-construction-technologies-used-green-construction.php>). [Acedido em Abril de 2018]
- [21] "ForConstructionPros, 5 Techniques for Sustainable Building Construction.". Disponível em: (<https://www.forconstructionpros.com/business/article/12068798/five-techniques-for-sustainable-building-construction>). [Acedido em Abril de 2018]
- [22] Smartcitiesdive. *Five Sustainable Building Materials that could Transform Construction*. Disponível em : (<https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/five-sustainable-building-materials-could-transform-construction/17346/>). [Acedido em Abril de 2018]
- [23] Pinheiro, D, M. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente
- [24] AMADO, M. P. et al. (2009). *Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacucaco*. Angola, págs.324. Cunhas e Irmãos, SARL, Luanda.
- [25] European Commission. (2016). The European construction sector: a global partner.
- [26] European Commission. (2016). Construction in EU. Disponível em: (http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/index_en.htm). [Acedido em Abril 2018]
- [27] NP EN ISO 14040. (2006). *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e enquadramento*.
- [28] CEOTTO, L. H. (2008). *Avaliação de sustentabilidade: balanço e perspectivas no Brasil*. In: *I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável – SBCS 08*, São Paulo
- [29] Puķīte, I., Geipele, I. (2017). *Different Approaches to Building Management and Maintenance Meaning Explanation*. *Procedia Engineering*. Vol. 172. pag. 905-912.
- [30] Pinto, G. (2010). *A gestão de serviços de manutenção em edifícios de serviços*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [31] NP EN ISO 14044. (2010). *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação*.
- [32] Almeida, M. (2015). *Declaração Ambiental de Produto - Instrumento de desempenho ambiental com base na avaliação de ciclo de vida*. Disponível em:

(http://www.ctcv.pt/seminarios/academia_tektonica/pdf/DAP_Maio2015_MarisaAlmeida.pdf). [Acedido em Maio de 2018]

[33] Boussabaine, H., Kirkham, R. (2004). *Whole life-cycle costing: risk and risk responses*. Blackwell publications

[34] Silva, V., Soares, I. (2003). *A revisão dos projectos como forma de reduzir os custos de construção e os encargos da manutenção de edifícios*. Pedra & Cal

[35] NP EN ISO 15686-5. (2017). Edifícios e bens construídos - Planeamento da vida útil - Parte 5: Custo de ciclo de vida.

[36] TG4. (2003). "Task Group 4: Life cycle costs in construction – final report".

[37] United States National Building Information Modeling Standard (NIBS). (2007). *National Institute of Building Sciences*.

[38] Topinformática. Disponível em (<http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=1&item=58951&hrq=>). [Acedido maio de 2018]

[39] Europeu, Parlamento - Diretiva 2014/24/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de fevereiro de 2014 relativa aos contratos públicos e que revoga a Diretiva 2004/18/CE. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2014. Disponível em (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=PT>). [Acedido abril de 2018]

[40] PADSUN. (2015). *Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia*. Brasília: Projeto de Apoio aos Diálogos Setoriais União Europeia-Brasil

[41] Smith, P. (2014). *BIM Implementation – Global Strategies*. Procedia Engineering. Vol. 85. pag. 482-492.

[42] McGraw-Hill Construction. (2014). *SmartMarket Report: The Business Value of BIM for Construction in Major Global Market: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling*. Bedford.

[43] Venâncio, M. (2015). *Avaliação da Implementação de BIM em Portugal*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[44] Kamardeen, I. (2010). *8D BIM modelling tool for accident prevention through design*. 26th Annual ARCOM Conference, Leeds, Association of Researchers in Construction Management.

[45] Banks, J. (2012). *BIM Guilt: How many Ds are you doing?*. Shoegnome Architects. Disponível em (<http://www.shoegnome.com/2012/11/06/bim-guilt-how-many-ds-are-you-doing/>). [Acedido em Maio 2018]

[46] Rodas, I. (2015). *Aplicação da metodologia BIM na gestão de edifícios*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

[47] Chau, KW., Anson, M., Zhang, JP.. (2004). *Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization*. Journal of construction engineering and management 130 (4):598-606

[48] Kapogiannis, G., Gaterell, M., Oulasoglou, E. (2015). *Identifying Uncertainties Toward Sustainable Projects*. Procedia Engineering.

[49] Yung, P., Wang, X. (2014). *A 6D CAD model for the automatic assessment of building sustainability*. International Journal of Advanced Robotic Systems 11

- [50] NP EN ISO 29481-1. (2016) - Building information models - Manual de entrega de informações - Parte 1: Metodologia e formato
- [51] Grilo, A., Goncalves, R. (2010). *Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments*. Automation in Construction. 19(5): pag. 522-530
- [52] Impact. Disponível em (<https://www.impactwba.com/>). [Acedido em julho de 2018]
- [53] Unit. *Exemples illustrés d'échanges normalisés IFC*. Disponível em (http://www.unit.eu/cours/bim/u13/co/u13_230_13-7.html). [Acedido em julho de 2018]
- [54] Feicon. Disponível em (<http://www.feicon.com.br/pt-BR/Exhibitors/4049835/MULTIPLUS-Softwares-Tecnicos/Products/1342838/Software-Arquimedes-e-Controle-de-Obra>). [Acedido em julho de 2018]
- [55] Monteiro, A. (2010). Avaliação da aplicabilidade do modelo IFC ao licenciamento automático de projectos de redes de distribuição predial de água. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [56] NP EN 15978. (2011) - Sustentabilidade das obras de construção. Avaliação do desempenho ambiental dos edifícios. Método de cálculo
- [57] MANUAL TÉCNICO II. A Avaliação do Desenvolvimento Socioeconómico. Métodos e Técnicas Instrumentos de Enquadramento das Conclusões da Avaliação: Análise Multicritério
- [58] Reis, A. (2018). *Utilização de Ferramenta BIM para a segurança na construção*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [59] Amorim. Disponível em (https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochure_Wicanders_Vinylcomfort_INT.pdf). [Acedido em julho de 2018]
- [60] Archiexpo. Disponível em (<http://www.archiexpo.com/prod/wicanders/product-64075-1947593.html>). [Acedido em julho de 2018]
- [61] Jacobsens. Disponível em (<http://jacobsens.co.nz/commercial/linoleum/veneto/>). [Acedido em julho de 2018]
- [62] Designbiz. Disponível em (<http://www.designbiz.com/biz/BrandViewPhoto.asp?CompanyID=57557&BrandID=51&PhotoID=928>). [Acedido em julho de 2018]
- [63] Sotecnisol. Disponível em (<https://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/isolamentos-termicos/la-de-rocha/>). [Acedido em julho de 2018]
- [64] Archiexpo. Disponível em (<http://www.archiexpo.com/pt/prod/euoperfil/product-50760-1684096.html>). [Acedido em julho de 2018]
- [65] Obras 360. Disponível em (<https://www.obras360.pt/0010030002by-painel-em-poliestireno-expandido-d-20>). [Acedido em julho de 2018]
- [66] Construir. Disponível em (<http://www.construir.pt/2011/05/11/jular-madeiras-amplia-portfolio-com-isolamentos-em-fibra-de-madeira-natural/>). [Acedido em julho de 2018]

[67] Público, Pinto, M. (2017). *Há mais vidas para lá da morte de um edifício*. Disponível em (<https://www.publico.pt/2018/03/13/p3/noticia/ha-mais-vidas-para-la-da-morte-de-um-edificio-1806315>). [Acedido em junho de 2018]

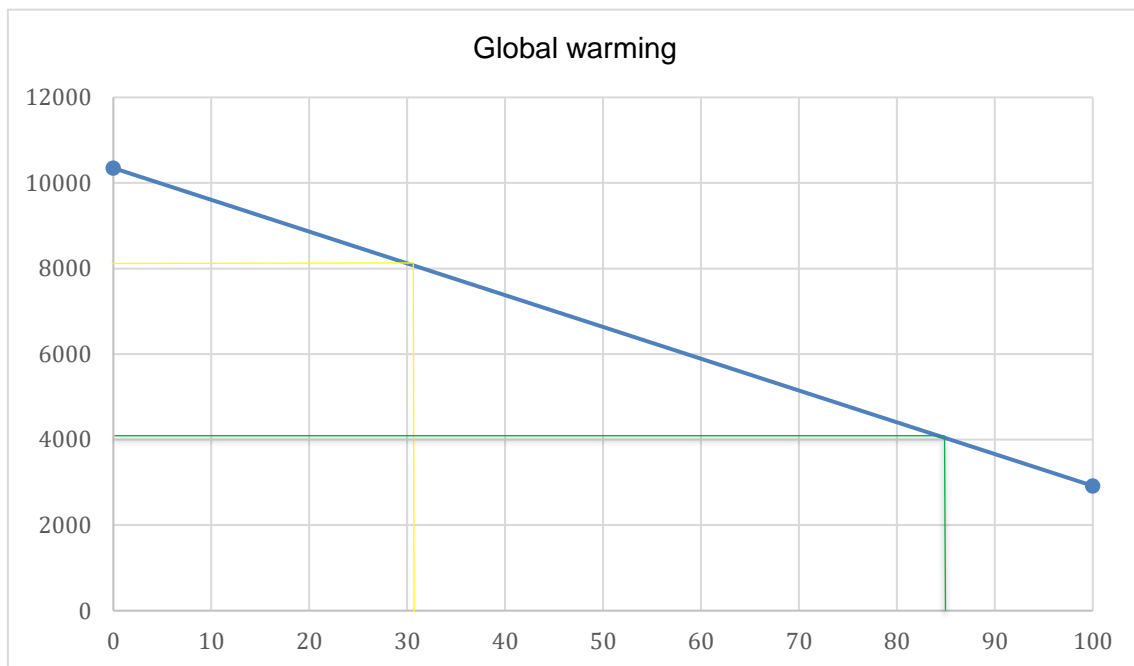
ANEXO A1

CÁLCULO DOS PERCENTIS DE CADA PARÂMETRO PARA A ANÁLISE MULTICRITÉRIO

- **Caso 1**

- **Global Warming**

Soluções	Global warming	Percentagem
Solução 1	2918.71 (y2)	100 (x2)
Solução 2	8038.97	A
Solução 3	4030.45	B
Solução 4	10348.52 (y1)	0 (x1)



$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{10348.52 - 2918.71}{0 - 100} = -74.3; b = 10348.52$$

$$y = -74.3x + 10348.52$$

$$A - y = 8038.97 - 8038.97 = -74.3x + 10348.52 \Rightarrow x = 31.1$$

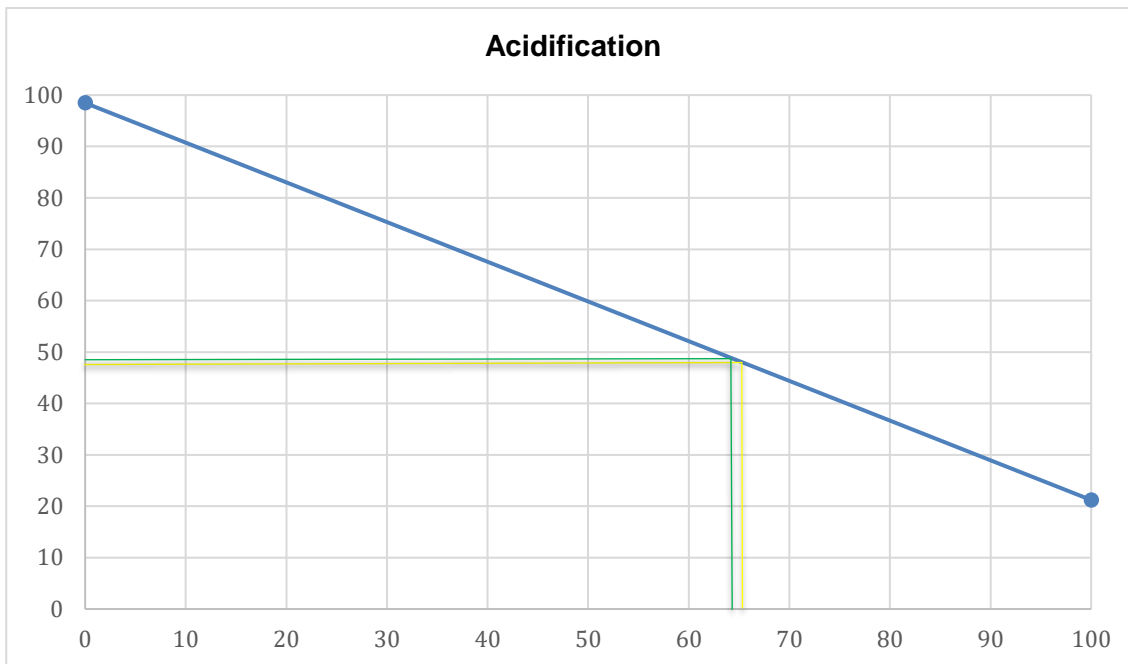
$$A = 31.1 \%$$

$$B - y = 4030.45 - 4030.45 = -74.3x + 10348.52 \Rightarrow x = 85$$

$$B = 85 \%$$

➤ **Acidification**

Soluções	Acidification	Percentagem
Solução 1	21.21 (y2)	100 (x2)
Solução 2	48.9	A
Solução 3	49.32	B
Solução 4	98.47 (y1)	0 (x1)



B A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{98.47 - 21.21}{0 - 100} = -0.7726; b = 98.47$$

$$y = -0.7726x + 98.47$$

$$A - y = 48.9 - 48.9 = -0.7726x + 98.47 \Rightarrow x = 64.2$$

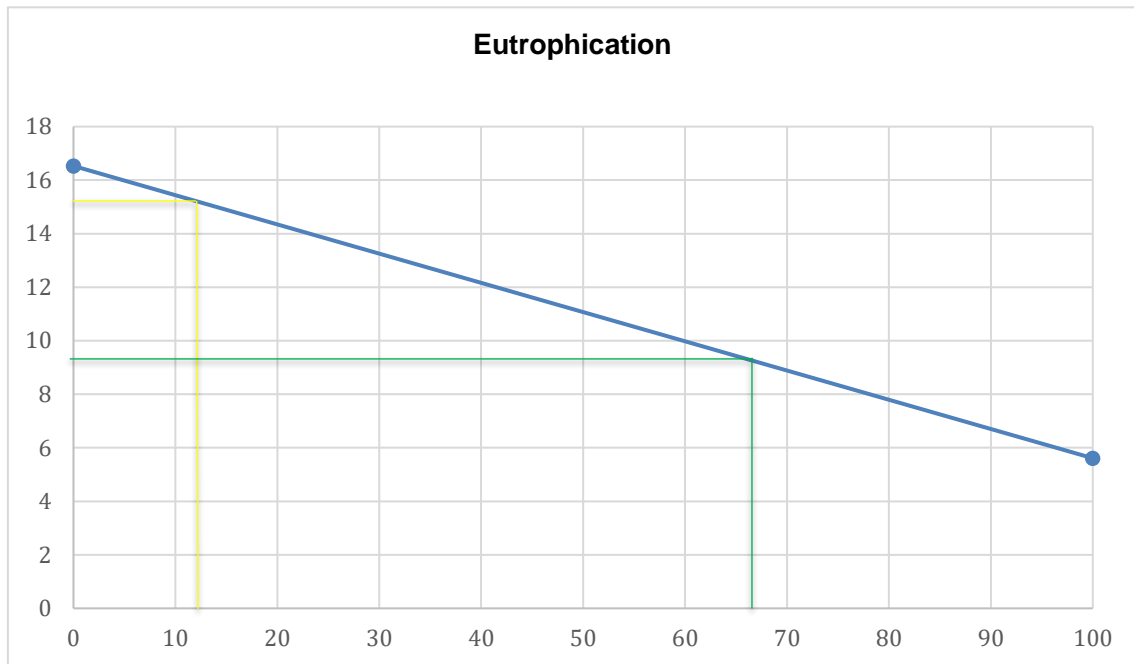
$$A = 64.2 \%$$

$$B - y = 49.32 - 49.32 = -0.7726x + 98.47 \Rightarrow x = 63.6$$

$$B = 63.6 \%$$

➤ **Eutrophication**

Soluções	Eutrophication	Percentagem
Solução 1	5.61 (y2)	100 (x2)
Solução 2	15.32	A
Solução 3	16.53 (y1)	0 (x1)
Solução 4	9.24	B



A

B

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{16.53 - 5.61}{0 - 100} = -0.11; b = 16.53$$

$$y = -0.11x + 16.53$$

$$A - y = 15.32 - 15.32 = -0.11x + 16.53 \Rightarrow x = 11$$

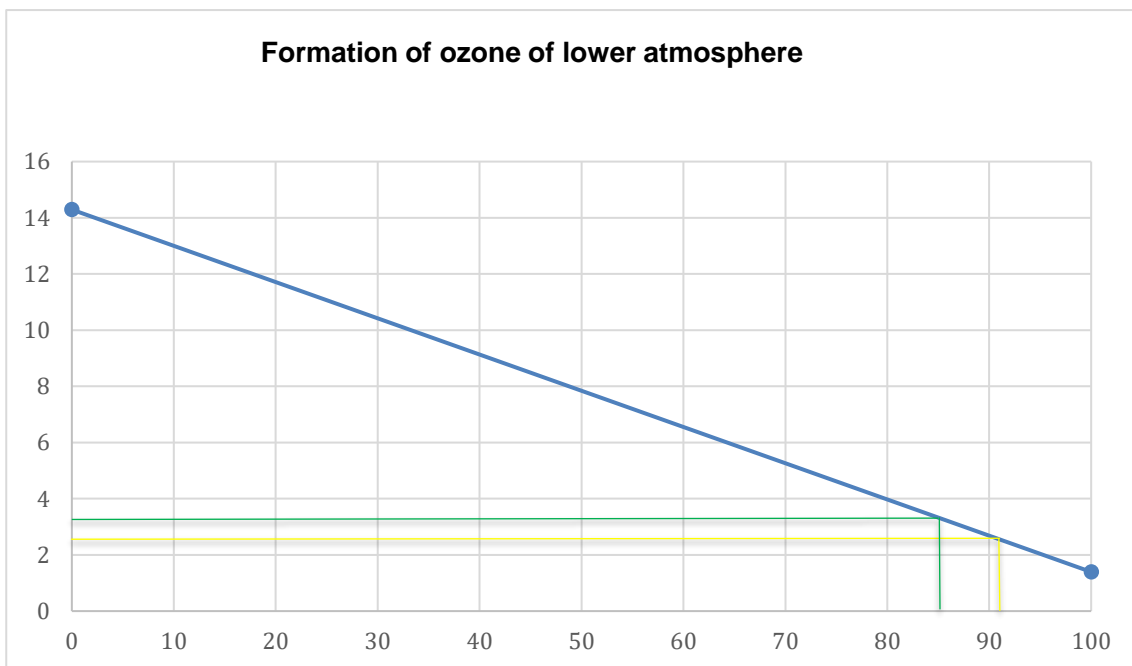
$$A = 11\%$$

$$B - y = 9.24 - 9.24 = -0.11x + 16.53 \Rightarrow x = 66.3$$

$$B = 66.3\%$$

➤ **Formation of ozone of lower atmosphere**

Soluções	Formation of ozone of lower atmosphere	Percentagem
Solução 1	1.394 (y2)	100 (x2)
Solução 2	2.44	A
Solução 3	3.29	B
Solução 4	14.29 (y1)	0 (x1)



B A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{14.29 - 1.394}{0 - 100} = -0.13; b = 14.29$$

$$y = -0.13x + 14.29$$

$$A - y = 2.44 - 2.44 = -0.13x + 14.29 \Rightarrow x = 91.2$$

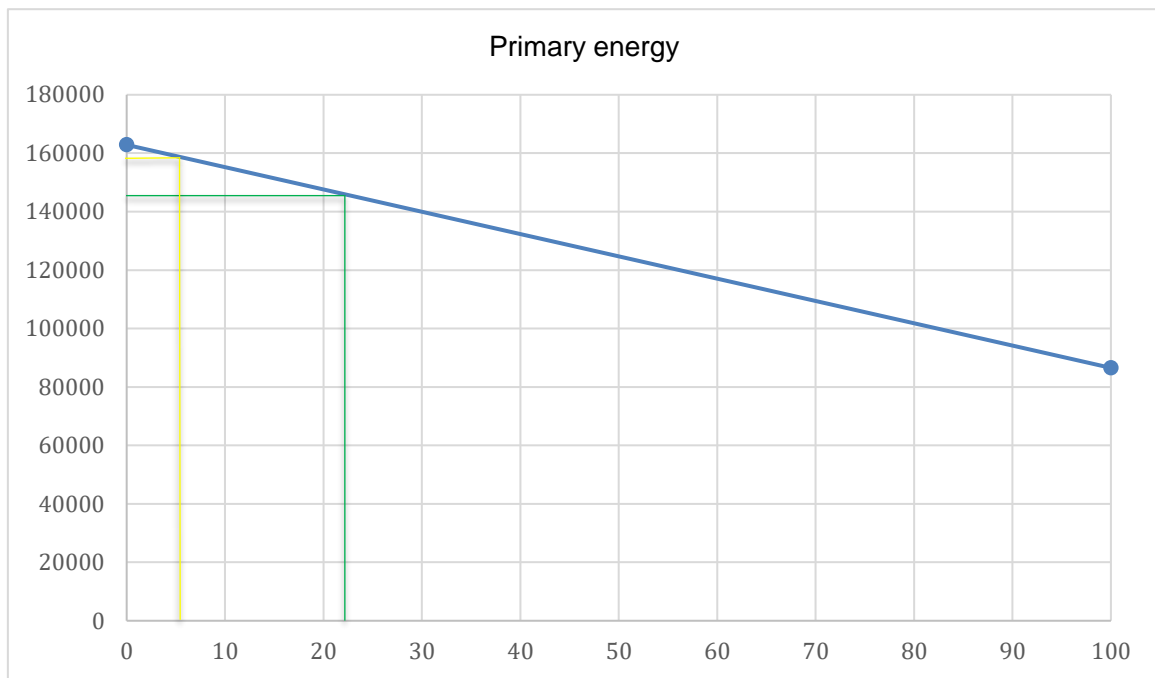
$$A = 91.2\%$$

$$B - y = 3.29 - 3.29 = -0.13x + 14.29 \Rightarrow x = 84.6$$

$$B = 84.6\%$$

➤ **Primary energy**

Soluções	Primary energy	Percentagem
Solução 1	86536.65 (y2)	100 (x2)
Solução 2	162848.66 (y1)	0 (x1)
Solução 3	158701.14	A
Solução 4	145579.09	B



A

B

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{162848.66 - 86536.65}{0 - 100} = -763.12; b = 162848.66$$

$$y = -763.12x + 162848.66$$

$$A - y = 158701.14 - 158701.14 = -763.12x + 162848.66 \Rightarrow x = 5.4$$

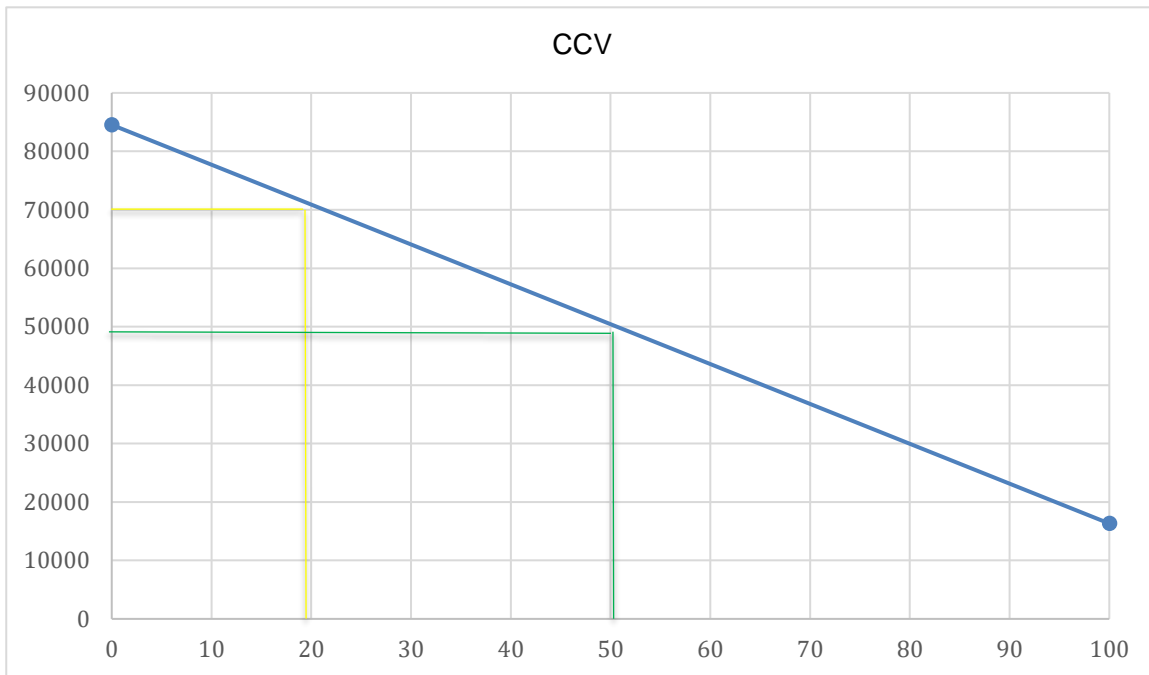
$$A = 5.4\%$$

$$B - y = 145579.09 - 145579.09 = -763.12x + 162848.66 \Rightarrow x = 22.6$$

$$B = 22.6\%$$

➤ Custos de Ciclo de Vida

Soluções	CCV	Percentagem
Solução 1	71212	A
Solução 2	16321 (y2)	100 (x2)
Solução 3	50339	B
Solução 4	84537 (y1)	0 (x1)



A

B

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{84537 - 16321}{0 - 100} = -682.16; b = 84537$$

$$y = -682.16 + 84537$$

$$A - y = 71212 - 71212 = -682.16x + 84537 (=) x = 19.5$$

$$A = 19.5\%$$

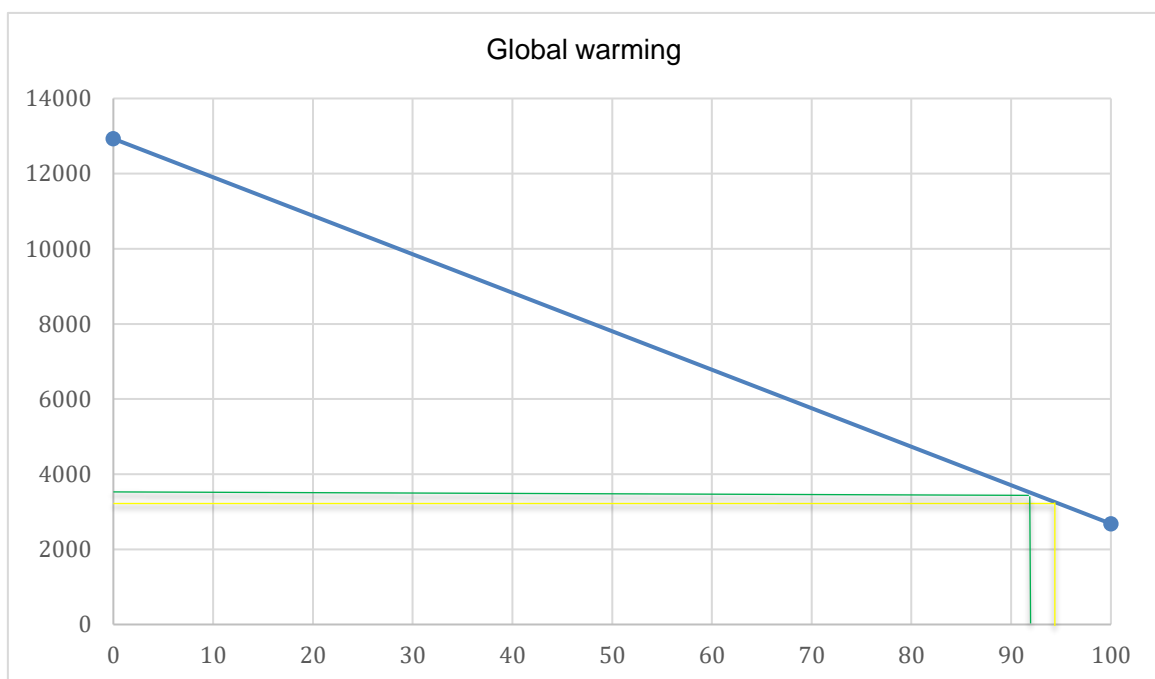
$$B - y = 50339 - 50339 = -682.16x + 84537 (=) x = 50.1$$

$$B = 50.1\%$$

- **Caso 2**

- **Global Warming**

Soluções	Global warming	Percentagem
Solução 1	3194.62	A
Solução 2	2681.75 (y2)	100 (x2)
Solução 3	12928.92 (y1)	0 (x1)
Solução 4	3405.52	B



B A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{12928.92 - 2681.75}{0 - 100} = -102.5; b = 12928.92$$

$$y = -102.5x + 12928.92$$

$$\text{A} - y = 3194.62 - 3194.62 = -102.5x + 12928.92 \quad (=) \quad x = 94.97$$

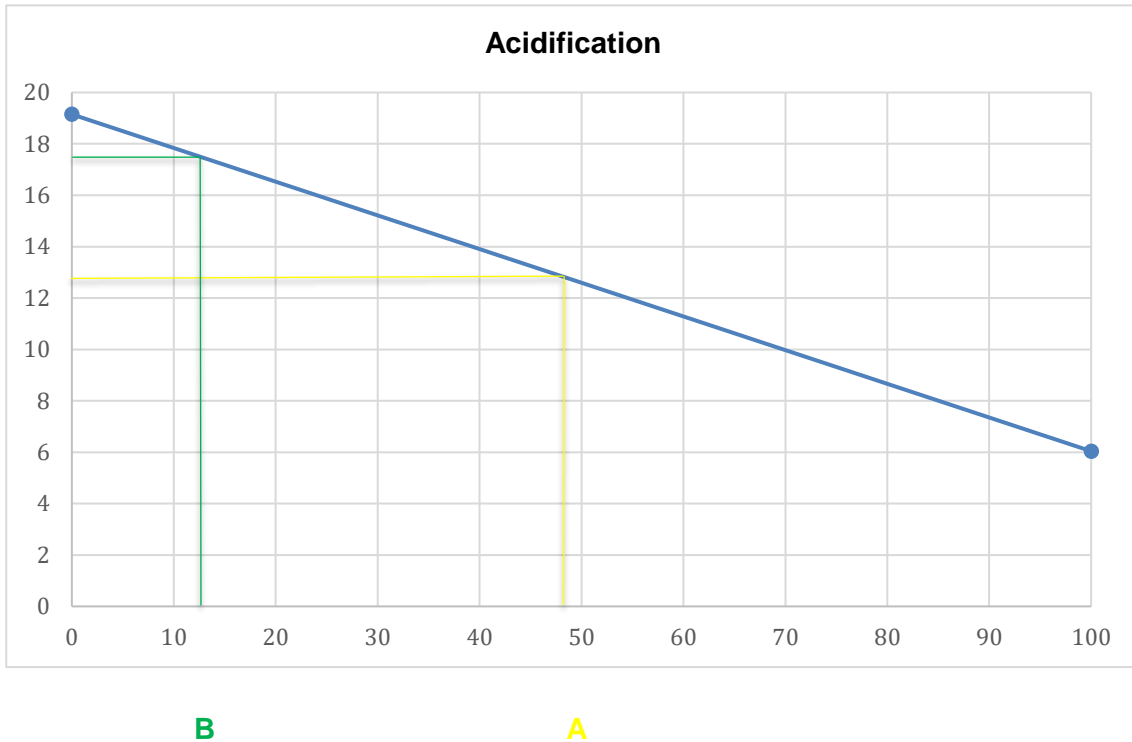
$$A = 94.97 \%$$

$$\text{B} - y = 3405.52 - 3405.52 = -102.5x + 12928.92 \quad (=) \quad x = 92.91$$

$$B = 92.91 \%$$

➤ Acidification

Soluções	Acidification	Percentagem
Solução 1	19.15 (y2)	0 (x1)
Solução 2	12.86	A
Solução 3	17.46	B
Solução 4	6.04 (y2)	100 (x2)



$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{19.15 - 6.04}{0 - 100} = -0.131; b = 19.15$$

$$y = -0.131x + 19.15$$

$$A - y = 12.86 - 12.86 = -0.131x + 19.15 \Rightarrow x = 48$$

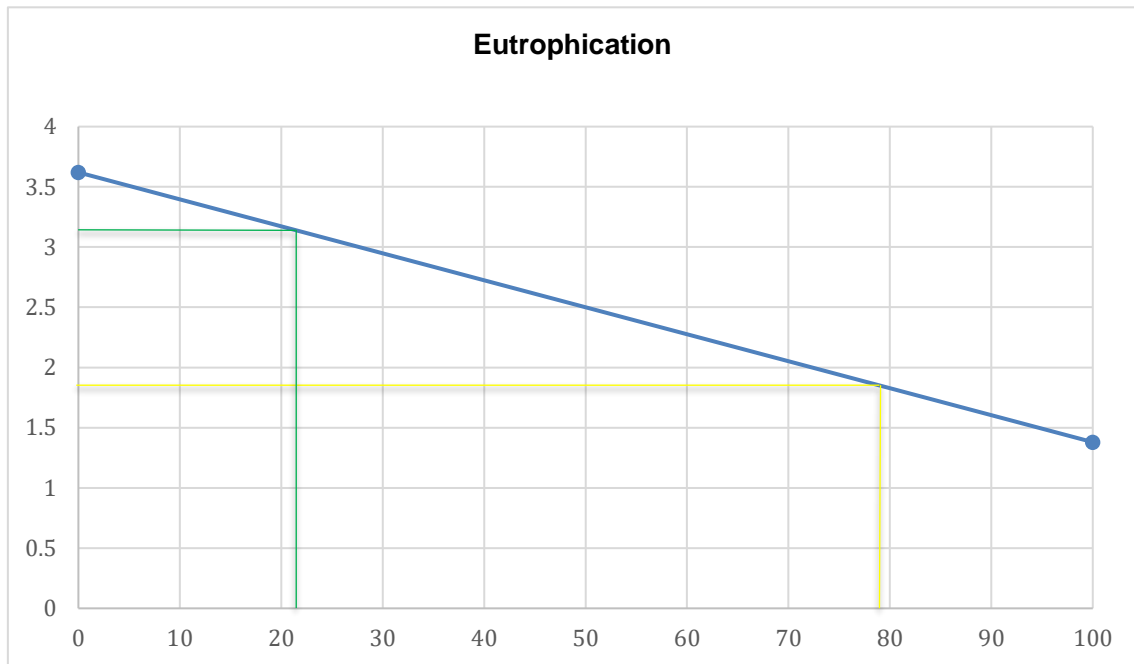
$$A = 48 \%$$

$$B - y = 17.46 - 17.46 = -0.131x + 19.15 \Rightarrow x = 12.9$$

$$B = 12.9 \%$$

➤ **Eutrophication**

Soluções	Eutrophication	Percentagem
Solução 1	3.62 (y1)	0 (x1)
Solução 2	1.85	A
Solução 3	3.13	B
Solução 4	1.38 (y2)	100 (x2)



B

A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{3.62 - 1.38}{0 - 100} = -0.0224; b = 3.62$$

$$y = -0.0224x + 3.62$$

$$A - y = 1.85 - 1.85 = -0.0224x + 3.62 \Rightarrow x = 79$$

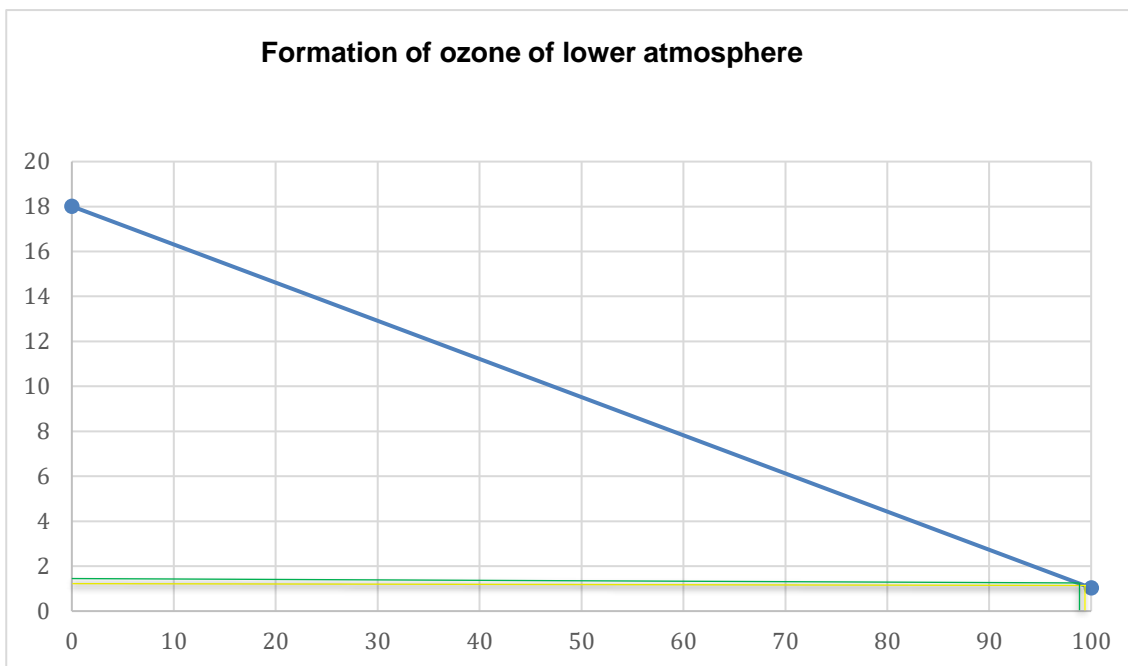
$$A = 79\%$$

$$B - y = 3.13 - 3.13 = -0.0224x + 3.62 \Rightarrow x = 21.9$$

$$B = 21.9\%$$

➤ **Formation of ozone of lower atmosphere**

Soluções	Formation of ozone of lower atmosphere	Percentagem
Solução 1	1.03 (y2)	100 (x2)
Solução 2	1.12	A
Solução 3	18.01 (y1)	0 (x1)
Solução 4	1.34	B



B A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y1-y2}{x1-x2} = \frac{18.01-1.03}{0-100} = -0.1698; b = 18.01$$

$$y = -0.1698x + 18.01$$

$$A - y = 1.12 - 1.12 = -0.1698x + 18.01 \Rightarrow x = 99.5$$

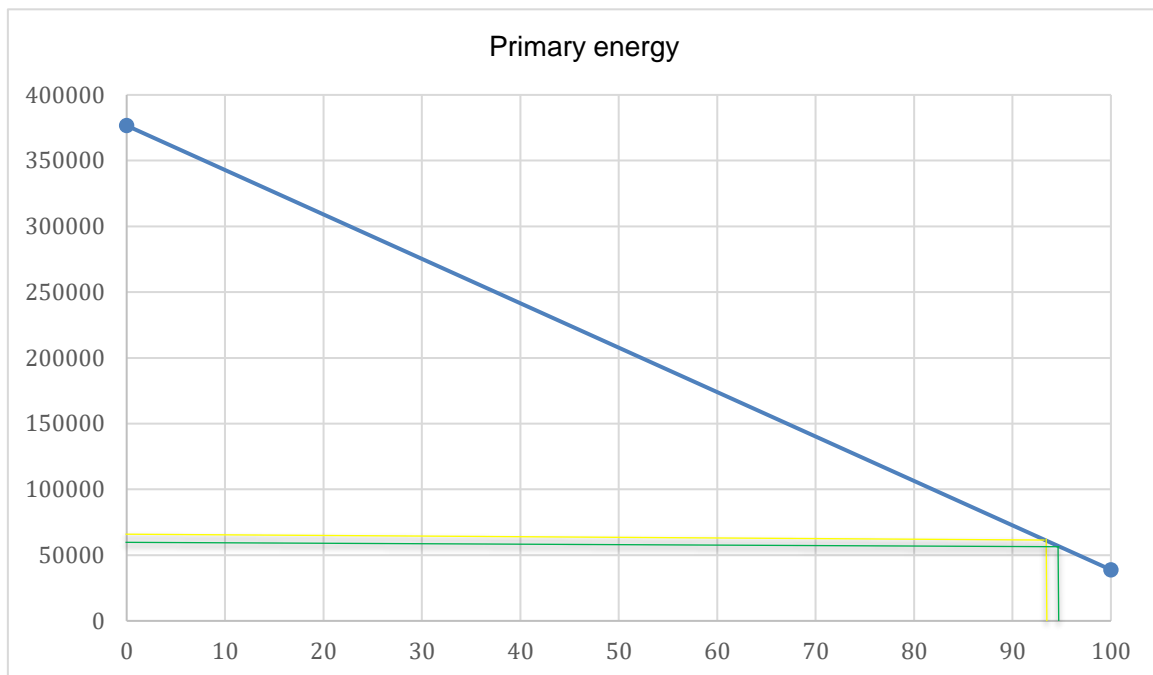
$$A = 99.5\%$$

$$B - y = 1.34 - 1.34 = -0.1698x + 18.01 \Rightarrow x = 98.2$$

$$B = 98.2\%$$

➤ Primary energy

Soluções	Primary energy	Percentagem
Solução 1	58807.61	A
Solução 2	38865.77 (y2)	100 (x2)
Solução 3	376624.11 (y1)	0 (x1)
Solução 4	55705.69	B



A B

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{376624.11 - 38865.77}{0 - 100} = -3377.5834; b = 376624.11$$

$$y = -3377.5834 + 376624.11$$

$$A - y = 58807.61 - 58807.61 = -3377.5834x + 376624.11 \Rightarrow x = 94.1$$

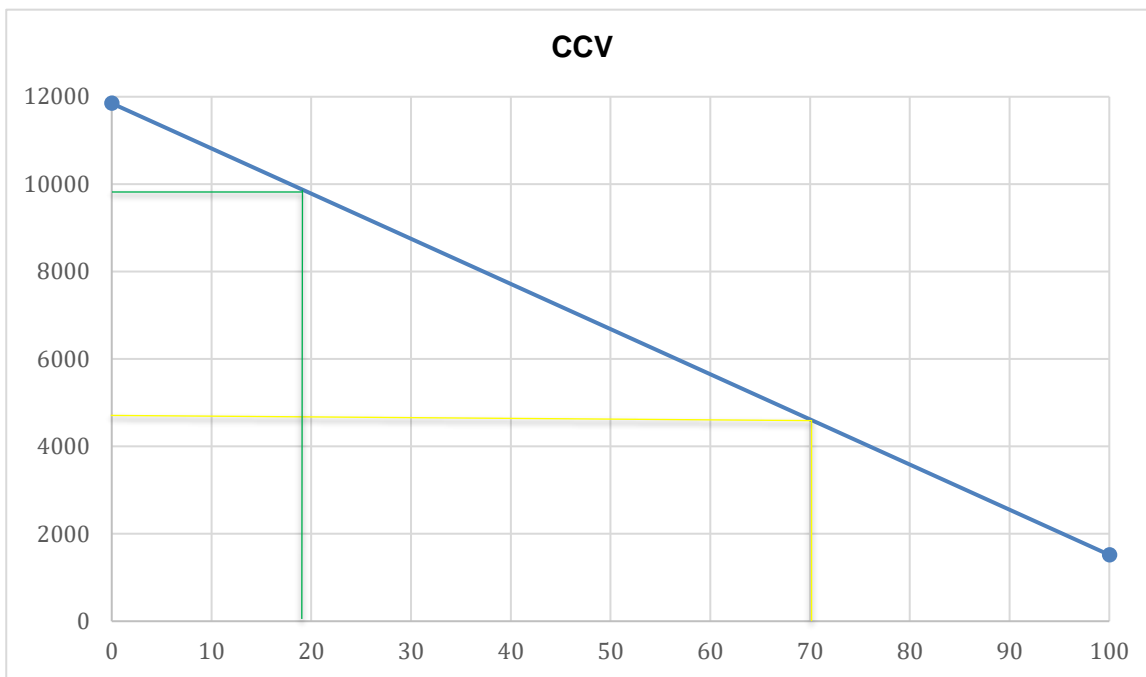
$$A = 94.1\%$$

$$B - y = 55705.69 - 55705.69 = -3377.5834x + 376624.11 \Rightarrow x = 95$$

$$B = 95\%$$

➤ Custos de Ciclo de Vida

Soluções	CCV	Percentagem
Solução 1	11850 (y1)	0 (x1)
Solução 2	4606	A
Solução 3	1519 (y2)	100 (x2)
Solução 4	9881	B



B

A

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{11850 - 1519}{0 - 100} = -103.31; b = 11850$$

$$y = -131.31x + 11850$$

$$A - y = 4606 - 4606 = -131.31x + 11850 \Rightarrow x = 70.1$$

$$A = 70.1\%$$

$$B - y = 9881 - 9881 = -131.31x + 11850 \Rightarrow x = 19.1$$

$$B = 19.1\%$$